



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Longboard eléctrico impreso en 3D

Autor/es

MARCO ANTONIO BENITO MARTÍN

Director/es

JOSÉ ANTONIO GÓMEZ CRISTÓBAL

Facultad

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Titulación

Grado en Ingeniería Mecánica

Departamento

INGENIERÍA MECÁNICA

Curso académico

2016-17



Longboard eléctrico impreso en 3D, de MARCO ANTONIO BENITO MARTÍN (publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

CURSO: 2016/2017

CONVOCATORIA: JULIO

TÍTULO:

Longboard eléctrico impreso en 3D

AUTOR: Marco Antonio Benito Martin

DIRECTOR/ES: Jose Antonio Gómez Cristobal

DEPARTAMENTO: Ingeniería Mecánica

Resumen

En el presente Trabajo Fin de Grado se trata de dar solución al diseño y fabricación de un longboard impreso en 3D con materiales de ingeniería reforzados.

El cuerpo principal del proyecto se encuentra desarrollado en la Memoria y los Anexos.

Al principio se muestra la evolución de este deporte. A continuación, se pasa a la descripción de los requisitos impuestos. También durante esta etapa se buscó la información sobre los componentes electrónicos y se compraron.

Después, se pasa a la parte del diseño del longboard y mejorándolo hasta conseguir reducir las tensiones hasta puntos donde los materiales estudiados resistan. Este proceso se realiza mediante prueba y error en el programa de elementos finitos. Además, los materiales utilizados fueron estudiados para comprobar si los datos ofrecidos por el fabricante son reales.

Una vez el diseño sea finalizado se procederá a modelizar los materiales estudiados y las piezas diseñadas en el programa de diseño 3D. Este diseño se simulará en el programa de elementos finitos recibiendo un resultado positivo.

Por último, una vez el diseño sea finalizado se procederá a la impresión en 3D si el tiempo lo permite.

Abstract

The aim of this Final Degree Project is the design and creation of a 3D printed electric longboard. The Materials used will be the ones which are denominated as Engineering plastics.

The main part of this project has been developed in the report and the Annexes.

Firstly, it is showed the evolution of the skateboarding. Moreover, the requirements are described in the next part of the report. Furthermore, during this period there was the search of the information about the electronic used in this project and buying them.

Secondly, it is started the period of the design of the longboard and improving them in order to reduce the stresses until the material can handle them. This process was made with the trial and error method. Moreover, the materials were studied to check the information which the manufactures gave to us.

Thirdly, when the design was finalised the parts were introduced and modelized into the finite element programme. At the end, the design were correctly simulated in the element finite programme.

To conclude, the longboard will be printed if there is available enough time.

Índice general

Longboard eléctrico fabricado mediante impresión en 3D

2017



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

Marco Antonio Benito Martin

Firma el presente documento:
Marco Antonio Benito Martin
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Logroño, 05 de julio de 2017

Memoria

1. Objeto	5
2. Alcance.....	5
3. Antecedentes	6
3.1. Antecedentes históricos	6
3.1.1. Surfboard	6
3.1.2. Skateboard.....	6
3.1.3. Penny	9
3.1.4. Slalomboard	9
3.1.5. Longboard.....	10
3.2. Antecedentes económicos	10
4. Normas y Referencias	11
4.1. Normativa	11
4.2. Programas utilizados.....	11
4.3. Referencias	11
5. Definiciones y abreviaturas	12
6. Requisitos de diseño	13
6.1. Requisitos propuestos por el Proyecto	13
6.2. Requisitos impuestos por la legislación, normativa y reglamentación.....	13
7. Análisis de soluciones	14
7.1. Materiales	14
7.1.1. Elección de materiales	14
7.2. Diseño	16
7.2.1. Pre-diseño.....	16
7.2.2. Diseño final.....	19
7.2.3. Piezas optimizadas del diseño final	20
7.3. Electrónica	29
7.3.1. Emisor y receptor	29
7.3.2. Baterías recargables.....	31
7.3.3. Cargador.....	33

7.3.4.	ESC	34
7.3.5.	Motor	36
7.3.6.	Switch On/Off.....	38
7.4.	Simulación	39
7.4.1.	Modelización de los materiales.....	39
7.4.2.	Simulaciones a realizar	39
7.4.3.	Preprocesado.....	41
7.5.	Impresión.....	50
7.5.1.	Componentes necesarios y modificación de la impresora.....	50
7.5.2.	Impresora.....	51
8.	Orden de prioridad entre los documentos básicos	57

Índice de ilustraciones

Ilustración 1.	Tipos de tablas de surf.....	6
Ilustración 2.	Despiece de un truck genérico	7
Ilustración 3.	Tabla artística de skateboard.....	8
Ilustración 4.	Tamaño de ruedas de skate.....	8
Ilustración 5.	Penny	9
Ilustración 6.	Esquema de una tabla de slalom	9
Ilustración 7.	Representación de un longboard de velocidad	10
Ilustración 8.	Primer diseño del longboard	16
Ilustración 9.	Suspensión de un LMP2.....	17
Ilustración 10.	Primera suspensión del longboard.....	17
Ilustración 11.	primer soporte del motor.....	18
Ilustración 12.	Truck del longboard	20
Ilustración 13.	Barra inferior del sistema de suspensión	20
Ilustración 14.	Barra superior del sistema de suspensión	21
Ilustración 15.	Buje con soporte del motor	22
Ilustración 16.	Buje del longboard	23
Ilustración 17.	Pieza superior del buje	24
Ilustración 18.	Pieza inferior del buje	25
Ilustración 19.	Soporte de la susoensión	26
Ilustración 20.	Tabla completa del longboard.....	27
Ilustración 21.	Sistema de dirección	27
Ilustración 22.	Vista delantera del longboard.....	28

Ilustración 23. Vista trasera del longboard.....	28
Ilustración 24. Radio de RC común	29
Ilustración 25. Emisora de 8 canales	30
Ilustración 26. Helicóptero RC de tamaño 450.....	30
Ilustración 27. Batería de 3 celdas	32
Ilustración 28. Proceso de carga de una batería.....	33
Ilustración 29. PCB de un VESC.....	34
Ilustración 30. Datos a tiempo real del VESC.....	36
Ilustración 31. VESC completo	36
Ilustración 32. Motor brushless desmontado	37
Ilustración 33. Gráfica de control de un motor brushless.....	38
Ilustración 34. Piezas importadas a Ansys	41
Ilustración 35. Piezas importadas en el Ansys Mechanical	42
Ilustración 36. Eje de coordenadas local.....	43
Ilustración 37. Unión rotacional	46
Ilustración 38. Unión lineal.....	47
Ilustración 39. Unión fija	47
Ilustración 40. Desgaste de una boquilla por abrasión	49
Ilustración 41. Nozzles para el volcán	49
Ilustración 42. Extrusor titan.....	51
Ilustración 43. E3D V6	52
Ilustración 44. E3D Volcán.....	52
Ilustración 45. Cama caliente	53

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de contactos.....	45
----------------------------------	----

Anexos

1. Estudio de materiales.....	6
1.1. Introducción	6
1.2. ASA.....	6
1.2.1. Propiedades mecánicas.....	6
1.2.2. Modelización	9
1.3. PETG + CF.....	11
1.3.1. Propiedades mecánicas.....	11
1.3.2. Modelización	13
1.4. Nylon + CF.....	15
1.4.1. Propiedades mecánicas.....	15
1.4.2. Modelización	17
2. Cálculos	20
2.1. Introducción	20
2.2. Baterías.....	20
2.3. Poleas y correa	20
2.4. Motor	21
3. Simulación	22
3.1. Hipótesis de carga 1	22
3.1.1. Introducción	22
3.1.2. Modelización	22
3.1.3. Resultados	24
3.2. Hipótesis de carga 2	32
3.2.1. Introducción	32
3.2.2. Modelización	32
3.2.3. Resultados	33
3.3. Hipótesis de carga 3	41
3.3.1. Introducción	41
3.3.2. Modelización	41
3.3.3. Resultados	42
3.4. Estudio de la rigidez de la tabla 1	51

3.4.1.	Introducción	51
3.4.2.	Modelización	51
3.4.3.	Resultados	52
3.5.	Estudio de la rigidez de la tabla 2	54
3.5.1.	Introducción	54
3.5.2.	Modelización	54
3.5.3.	Resultados	55

Índice de ilustraciones

Ilustración 1.	Gráfica resultante del ensayo de tracción	7
Ilustración 2.	Representación de los ejes de una impresora	9
Ilustración 3.	Datos insertados en Ansys.....	9
Ilustración 4.	Propiedades mecánicas del ASA XY	10
Ilustración 5.	Propiedades mecánicas del ASA XZ	11
Ilustración 6.	Propiedades mecánicas del ASA YZ	11
Ilustración 7.	Gráfica resultante del ensayo de tracción	12
Ilustración 8.	Datos insertados en Ansys.....	13
Ilustración 9.	Propiedades mecánicas del Carbonfil XY.....	14
Ilustración 10.	Propiedades mecánicas del Carbonfil XZ	14
Ilustración 11.	Propiedades mecánicas del Carbonfil YZ	15
Ilustración 12.	Gráfica resultante del ensayo de tracción.....	16
Ilustración 13.	Datos insertados en Ansys.....	17
Ilustración 14.	Propiedades mecánicas del Carbonium XY	18
Ilustración 15.	Propiedades mecánicas del Carbonium XZ	18
Ilustración 16.	Propiedades mecánicas del Carbonium YZ	19
Ilustración 17.	Condiciones de contorno	23
Ilustración 18.	Condiciones de contorno del buje	23
Ilustración 19.	Condiciones de contorno de la tabla.....	24
Ilustración 20.	Tensiones de Von Mises en el truck.....	25
Ilustración 21.	Tensiones de Von Mises en la tabla	25
Ilustración 22.	Tensiones de Von Mises en los bujes	26
Ilustración 23.	Tensiones de Von Mises en los brazos inferiores.....	27
Ilustración 24.	Tensiones de Von Mises en los brazos superiores.....	28
Ilustración 25.	Tensiones de Von Mises en las piezas inferiores del buje.....	29
Ilustración 26.	Tensiones de Von Mises en las piezas superiores del buje.....	30

Ilustración 27. Tensiones de Von Mises en los soportes de la suspensión.....	31
Ilustración 28. Condiciones de contorno	32
Ilustración 29. . Tensiones de Von Mises en el truck	33
Ilustración 30. Tensiones de Von Mises en la tabla	34
Ilustración 31. Tensiones de Von Mises en los bujes	35
Ilustración 32. Tensiones de Von Mises en los brazos inferiores del sistema de suspensión.....	36
Ilustración 33. Tensiones de Von Mises en los brazos superiores del sistema de suspensión.....	37
Ilustración 34. Tensiones de Von Mises en las piezas inferiores del buje.....	38
Ilustración 35. Tensiones de Von Mises en las piezas superiores del buje	39
Ilustración 36. Tensiones de Von Mises en los soportes de los amortiguadores.....	40
Ilustración 37. Condiciones de contorno	42
Ilustración 38. Tensiones de Von Mises en el truck.....	43
Ilustración 39. Tensiones de Von Mises en la tabla	44
Ilustración 40. Tensiones de Von Mises en los bujes	45
Ilustración 41. Tensiones de Von Mises en las barras inferiores del sistema de suspensión.....	46
Ilustración 42. Tensiones de Von Mises en las barras superiores del sistema de suspensión.....	47
Ilustración 43. Tensiones de Von Mises en las piezas inferiores del buje.....	48
Ilustración 44. Tensiones de Von Mises en las piezas superiores del buje	49
Ilustración 45. Tensiones de Von Mises en el soporte de los amortiguadores.....	50
Ilustración 46. Condiciones de contorno	51
Ilustración 47. Tensiones de Von Mises en la tabla	52
Ilustración 48. Deformaciones en la tabla.....	53
Ilustración 49. Condiciones de contorno	54
Ilustración 50. Tensiones de Von Mises en la tabla	55
Ilustración 51. Deformaciones de Von Mises en la tabla	56

Índice de tablas

Tabla 1. Datos cedidos por el fabricante	7
Tabla 2. Datos obtenidos a partir del ensayo de tracción	7
Tabla 3. Datos cedidos por el fabricante	12
Tabla 4. Datos obtenidos a partir del ensayo de tracción	12
Tabla 5. Datos cedidos por el fabricante	15
Tabla 6. Datos obtenidos a partir del ensayo de tracción	16

Pliego de condiciones

1. Objeto.....	3
2. Descripción del producto	3
3. Especificaciones técnicas de los materiales	3
3.1 Calidades mínimas a exigir	3
3.1.1 ASA.....	4
3.1.2 PETG	4
3.1.3Nylon	4
3.2 Ensayos sobre el producto terminado	5
3.2.1 Ensayos según la norma UNE-EN 13613:2010	5

Planos

1. Introducción	3
2. Tabla 1	4
3. Tabla 2	5
4. Tabla 3	6
5. Truck	7
6. Rueda.....	8
7. Pieza superior del buje	9
8. Pieza inferior del buje	10
9. Brazo superior de la suspensión	11
10. Brazo inferior de la suspensión	12
11. Pieza 1 de la dirección	13
12. Pieza 2 de la dirección	14
13. Pieza 3 de la dirección	15
14. Pieza 4 de la dirección	16
15. Pieza 5 de la dirección	17
16. Soporte de la suspensión	18
17. Buje.....	19
18. Soporte motor	20

Mediciones

1. Objeto	3
2. Estructura.....	3
3. Mediciones.....	3
3.1. Piezas mecánicas.....	3
3.1.1. Piezas impresas	3
3.1.2. Piezas compradas	5
3.2. Piezas electrónicas.....	6

Presupuesto

1. Objeto.....	3
2. Estructura	3
3. Presupuesto	3
3.1. Cuadro de precios unitarios	3
3.2. Cuadro de precios 1.....	6
3.2.1. Piezas Mecánicas.....	6
3.2.2. Piezas electrónicas.....	7
3.3. Cuadro de precios 2.....	9
3.3.1. Piezas Mecánicas.....	9
3.3.2. Piezas electrónicas.....	12
3.4. Presupuesto parcial.....	14
3.4.1. Piezas mecánicas.....	14
3.4.2. Piezas electrónicas.....	16
3.5. Resumen de presupuesto	17

Memoria

Longboard eléctrico fabricado mediante impresión en 3D

2017



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

Marco Antonio Benito Martin

Firma el presente documento:
Marco Antonio Benito Martin
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Logroño, 05 de julio de 2017

Memoria

Índice

1. Objeto	5
2. Alcance.....	5
3. Antecedentes	6
3.1. Antecedentes históricos	6
3.1.1. Surfboard	6
3.1.2. Skateboard.....	6
3.1.3. Penny	9
3.1.4. Slalomboard	9
3.1.5. Longboard.....	10
3.2. Antecedentes económicos.....	10
4. Normas y Referencias	11
4.1. Normativa	11
4.2. Programas utilizados.....	11
4.3. Referencias	11
5. Definiciones y abreviaturas	12
6. Requisitos de diseño	13
6.1. Requisitos propuestos por el Proyecto	13
6.2. Requisitos impuestos por la legislación, normativa y reglamentación.....	13
7. Análisis de soluciones	14
7.1. Materiales	14
7.1.1. Elección de materiales	14
7.2. Diseño.....	16
7.2.1. Pre-diseño.....	16
7.2.2. Diseño final.....	19
7.2.3. Piezas optimizadas del diseño final	20
7.3. Electrónica	29

7.3.1.	Emisor y receptor	29
7.3.2.	Baterías recargables	31
7.3.3.	Cargador	33
7.3.4.	ESC	34
7.3.5.	Motor	36
7.3.6.	Switch On/Off	38
7.4.	Simulación	39
7.4.1.	Modelización de los materiales	39
7.4.2.	Simulaciones a realizar	39
7.4.3.	Preprocesado	41
7.5.	Impresión	50
7.5.1.	Componentes necesarios y modificación de la impresora	50
7.5.2.	Impresora	51
8.	Orden de prioridad entre los documentos básicos	57

Índice de ilustraciones

Ilustración 1.	Tipos de tablas de surf	6
Ilustración 2.	Despiece de un truck genérico	7
Ilustración 3.	Tabla artística de skateboard	8
Ilustración 4.	Tamaño de ruedas de skate	8
Ilustración 5.	Penny	9
Ilustración 6.	Esquema de una tabla de slalom	9
Ilustración 7.	Representación de un longboard de velocidad	10
Ilustración 8.	Primer diseño del longboard	17
Ilustración 9.	Suspensión de un LMP2	17
Ilustración 10.	Primera suspensión del longboard	18
Ilustración 11.	primer soporte del motor	18
Ilustración 12.	Truck del longboard	20
Ilustración 13.	Barra inferior del sistema de suspensión	21
Ilustración 14.	Barra superior del sistema de suspensión	21
Ilustración 15.	Buje con soporte del motor	22
Ilustración 16.	Buje del longboard	23
Ilustración 17.	Pieza superior del buje	23
Ilustración 18.	Pieza inferior del buje	24

Ilustración 19. Soporte de la susoensión	25
Ilustración 20. Tabla completa del longboard.....	26
Ilustración 21. Sistema de dirección	27
Ilustración 22. Vista delantera del longboard.....	27
Ilustración 23. Vista trasera del lobngboard.....	28
Ilustración 24. Radio de RC común	29
Ilustración 25. Emisora de 8 canales	30
Ilustración 26. Helicóptero RC de tamaño 450.....	30
Ilustración 27. Batería de 3 celdas	32
Ilustración 28. Proceso de carga de una batería.....	33
Ilustración 29. PCB de un VESC.....	34
Ilustración 30. Datos a tiempo real del VESC.....	36
Ilustración 31. VESC completo	36
Ilustración 32. Motor brushless desmontado	37
Ilustración 33. Gráfica de control de un motor brushless.....	38
Ilustración 34. Piezas importadas a Ansys.....	42
Ilustración 35. Piezas importadas en el Ansys Mechanical	42
Ilustración 36. Eje de coordenadas local.....	43
Ilustración 37. Unión rotacional	47
Ilustración 38. Unión lineal.....	47
Ilustración 39. Unión fija.....	48
Ilustración 40. Desgaste de una boquilla por abrasión	50
Ilustración 41. Nozzles para el volcano	51
Ilustración 42. Extrusor titan.....	53
Ilustración 43. E3D V6	53
Ilustración 44. E3D Volcano.....	54
Ilustración 45. Cama caliente	55

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de contactos.....	45
----------------------------------	----

1. Objeto

El principal objetivo de este trabajo es la presentación de toda la información referente al diseño, cálculos, simulación, optimización y fabricación de un longboard eléctrico impreso en 3D. Una gran modularidad y flexibilidad son los requisitos principales del patinete.

2. Alcance

El ámbito de aplicación de los resultados de este proyecto es el transporte de personas y cargas ligeras mediante un vehículo ecológico y económicamente viable.

Por otro lado, el alcance del proyecto es mostrar todos los procesos necesarios hasta llegar a fabricar un longboard eléctrico.

Las limitaciones en el desarrollo del producto fueron los materiales disponibles para utilizar. Debido a que el longboard será fabricado mediante la tecnología FDM los materiales utilizados serán plásticos o plásticos reforzados con otros materiales metálicos, fibra de carbono u otros disponibles en el mercado. Además, debido al propio proceso de fabricación las propiedades de estos materiales no son homogéneos, sino que en cada eje sus propiedades son diferentes y la configuración de las capas y las trayectorias de depositado de material. Asimismo, el tamaño de la base y la altura de impresión de la impresora, limita el volumen máximo que una pieza puede llegar a tener.

A partir de todo esto y las limitaciones técnicas, económicas y temporales propicios de un proyecto académico sin ayudas de ninguna otra empresa o institución, la simulación del proyecto se realizará mediante el programa de elementos finitos (FEM) Ansys en su versión 17.2.

El alcance temporal del producto debe de ser dos años tanto en sus partes mecánicas y electrónicas. Esta vida útil se estima teniendo en cuenta que el uso del producto fue el correcto, al igual que su mantenimiento.

3. Antecedentes

Los antecedentes del proyecto son propios de la observación y estudio de skateboards y longboards presentes en el mercado para a partir de ellos desarrollar el longboard aquí desarrollado.

3.1. Antecedentes históricos

3.1.1. Surfboard

Fue el precursor del skate. La tabla de surf es una tabla alargada, ligera y con la suficiente resistencia como para aguantar a un individuo surfeando las olas en el mar.

Estas tablas fueron inventadas en Hawái y estaban fabricadas en madera de árboles locales. Sin embargo, en la actualidad están fabricadas en poliuretano reforzado con capas de fibra de vidrio y se están experimentando con tablas de fibra de carbono y kevlar.

Hay una gran variedad de formas disponibles para las tablas, siendo cada una mejor para un estilo y gustos de cada usuario. También hay una distinción como en los skateboards, habiendo tablas más cortas llamadas Shortboards, las de tamaño medio o tabla de surf y las más largas o longboards.



Ilustración 1. Tipos de tablas de surf

3.1.2. Skateboard

El skateboarding o monopatín surgió en los años 60-70 en California. Este deporte se basó en el surf con la diferencia de que el primero es deslizarse por el agua mientras que este es por tierra. Como abreviatura se utiliza skate, la cual será usada durante este proyecto.

En este deporte se realizan diferentes trucos con las tablas, estos trucos se pueden dividir en las siguientes categorías. A continuación, se muestran algunas categorías de todas las que hay.

- Ollie
- Nollie
- Flip tricks
- Stall
- Skate Street
- Flip
- Grinds

3.1.2.1. Componentes

Los componentes que componen un skate son los siguientes.

3.1.2.1.1. Truck

Los trucks son los ejes del monopatín. Esta es la parte más crucial del patín y también en la que más tensiones se generan. Generalmente están realizados en acero de alta resistencia, aunque también hay algunos modelos fabricados en aluminio y titanio. La mayoría están fabricados mediante fundición, mientras que los más avanzados son mecanizados desde un solo tocho de material.

El diseño más general conta de dos piezas principales, la base y los ejes. La tabla se coloca encima de estos. En ellos se colocan los rodamientos de las ruedas y las gomas para permitir una pequeña rotación del mismo cuando se balancea la tabla.

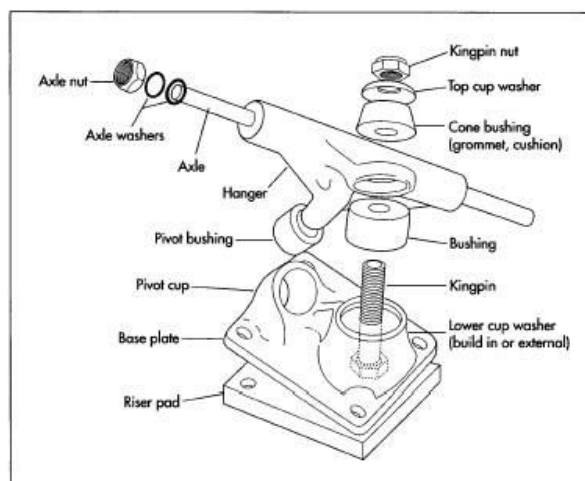


Ilustración 2. Despiece de un truck genérico

3.1.2.1.2. Tabla

Es la parte exterior del patinete y es donde se coloca el usuario. Esta tabla suele estar recubierta de un papel de lija para así facilitar el agarre de las zapatillas a la propia tabla. Comúnmente se fabrica mediante láminas de madera, pero actualmente se están realizando alguno en fibra de carbono debido a su ligereza y rigidez.

El tamaño de las tablas suele estar entorno los 75 centímetros de longitud.



Ilustración 3. Tabla artística de skateboard

3.1.2.1.3. Ruedas

Las ruedas de un skate tienen un tamaño comprendido entre 48 y 60 milímetros de diámetro y están fabricados en poliuretano. También en cada una de ellas se colocan dos rodamientos de 22mm de diámetro exterior y 8 mm de interior, con un espesor de 7 mm.

Por otro lado, las ruedas también se diferencian por su dureza, siendo la más dura la más recomendable para entorno urbano y trucos.

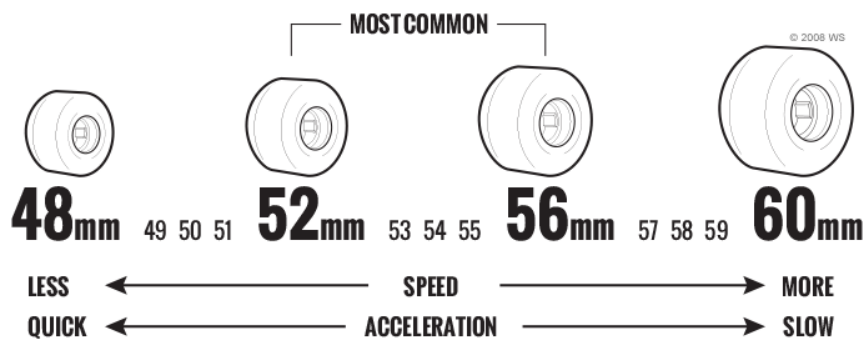


Ilustración 4. Tamaño de ruedas de skate

3.1.3. Penny

El Penny Board es una variación del skate con un tamaño menor a los 60 cm de longitud. Los componentes son los mismos que los de un monopatín, salvo las ruedas cuyos diámetros más utilizadas son los de 60mm, pero de un tamaño menor.

Por otro lado, las tablas de estos monopatines están fabricadas en plástico. Al igual que su hermano mayor, se pueden realizar trucos especiales con estos patinetes, siendo estas variaciones de los del skate.



Ilustración 5. Penny

3.1.4. Slalomboard

El Slalomboard es un tipo de skateboard al cual se le han mejorado sus capacidades de maniobrabilidad. También tienen la capacidad de frenar la tabla y acelerarla solo con variar el centro de masas de su cuerpo y la realización de giros cortos y rápidos.



Ilustración 6. Esquema de una tabla de slalom

3.1.5. Longboard

Por otro lado, nació el longboard el cual es un skate, pero más largo, desde unos 84 cm hasta 1,5 metros de longitud. Estos se usan principalmente para descenso de colinas (velocidad o derrape) y transporte personal o también llamado cruising.

Al ser más largos y su distancia entre ejes es mayor se consigue una mayor estabilidad tanto en recta como en curva.

Tal y como pasa con el Penny, los componentes principales de un longboard son como los del skate solo que en este caso son de mayor tamaño. También en esta modalidad de skate se utilizan ruedas de hasta 90mm ofreciendo así mayores velocidades y estabilidad para el usuario.

Durante este proyecto se va a diseñar un nuevo tipo de longboard basado en estos, pero la mayoría de sus componentes serán completamente diferentes a los que hay actualmente en ellos.

Como curiosidad, la distancia máxima que se ha recorrido con un longboard fueron 12159 kilómetros por Europa y la velocidad máxima en un longboard convencional fue de 130 Km/h.



Ilustración 7. Representación de un longboard de velocidad

3.2. Antecedentes económicos

La variante de longboards orientados al cruising tuvo una subida en ventas en los últimos años cuando salieron al mercado los primeros longboards eléctricos. Por el contrario, todos estos patinetes tienen unos precios bastante elevados (superior a los 800 euros)

Este proyecto está enfocado en la creación de un longboard lo suficientemente económico como para que la mayoría de las personas que tengan a su disposición una impresora 3D puedan realizarlo.

4. Normas y Referencias

4.1. Normativa

La normativa aplicable a este proyecto es la mostrada a continuación:

- UNE-EN 13613:2010: Equipo para deportes sobre ruedas. Monopatines. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.
- UNE-EN ISO 527-1:2012: Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: Principios generales.
- UNE-EN ISO 527-2:2012: Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 2: Condiciones de ensayo de plásticos para moldeo y extrusión.

4.2. Programas utilizados

Los programas utilizados para este proyecto fueron los siguientes:

- Solidworks para el modelado 3D de las piezas del patinete
- KeyShot para las fotografías fotorrealistas que se muestran en este proyecto
- Ansys 17.2 para la realización de las simulaciones de elementos finitos
- Microsoft Office Word utilizado para la redacción de este proyecto.
- Microsoft Office Excel utilizado para el desarrollo de todos los cálculos matemáticos realizados durante este proyecto.
- BLDC Tool utilizado para la programación del VESC
- Simpplify3D utilizado para la creación del código g para imprimir las piezas del longboard.

4.3. Referencias

- (2017). Lección 5. Tipos de documentación del proyecto. [Apuntes de la asignatura Proyectos]. Universidad de La Rioja.
- Radio system. (2017). RC Wiki. Accedido el 6 junio 2017, desde http://radiocontrol.wikia.com/wiki/Radio_system
- Basic to Advanced Battery Information from Battery University. (2017). Batteryuniversity.com. Accedido el 11 marzo 2017, desde <http://batteryuniversity.com/>
- Control de los motores BLDC sin sensores a través de la fuerza contraelectromotriz | DigiKey. (2017). Digikey.es. Accedido el 7 Mayo 2017, desde <https://www.digikey.es/es/articles/techzone/2013/jun/controlling-sensorless-bldc-motors-via-back-emf>
- Skateboard. (2017). En.wikipedia.org. Accedido el 4 abril 2017, desde <https://en.wikipedia.org/wiki/Skateboard>
- Dhruv Bhate, P. (2017). Constitutive Modeling of 3D Printed FDM Parts: Part 1 (Challenges). PADT, Inc. - The Blog. Accedido el 2 Marzo 2017, desde

<http://www.padtinc.com/blog/additive-mfg/constitutive-modeling-of-3d-printed-fdm-parts>

- NSYS Mechanical ANSYS Mechanical Structural Nonlinearities. (2010). Accesible en http://inside.mines.edu/~apetrell/ENME442/Labs/1301_ENME442_lab6_lecture.pdf
- Joint Types. (2017). Sharcnet.ca. Accedido el 13 marzo 2017, desde https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/wb_sim/ds_joints_types.html
- Working with Joints in ANSYS Mechanical - ANSYS e-Learning | CAE Associates. (2017). Caeai.com. Accedido el 18 marzo 2017, desde <https://caeai.com/resources/working-joints-ansys-mechanical-ansys-e-learning>
- (2016). Racecar Engineering.
- Behaviour of Contact (In ANSYS). (2017). Everyone is Number One. Accedido el 18 marzo 2017, desde <https://deust.wordpress.com/2012/01/02/behavior-of-contact-in-ansys/>

5. Definiciones y abreviaturas

- FEM: Método de Elementos Finitos
- 3D: 3 Dimensiones
- BLDC: Motor de corriente continua sin escobillas
- Km: Kilómetros
- mm: Milímetros
- MPa: Mega Pascales
- PLA: ácido poliláctico
- ASA: acrilato-estireno-acrilonitrilo
- PETG: Polyethyleno Terephthalato de Glicol
- CF: Fibra de carbono
- LMP2: Prototipo de segunda categoría de Le Mans
- MHz: Megahercios
- GHz: Gigahercios
- GDL: Grados de libertad
- Li-Co: Baterías de litio y cobalto
- NMC: Baterías de litio, níquel, manganeso y cobalto
- mAh: Miliamperios
- ESC: Controlador electrónico de velocidad de un motor
- VESC: Controlador electrónico de velocidad de un motor diseñado por Vedder
- PCB: Circuito eléctrico impreso
- FOC: Field oriented control
- RAMPS: RepRap Arduino Mega Pololu Shield

6. Requisitos de diseño

En el siguiente apartado se expondrán los requisitos de diseño del prototipo de longboard eléctrico.

6.1. Requisitos propuestos por el Proyecto

El principal objetivo del proyecto es la elaboración de un prototipo de longboard eléctrico impreso en 3D. Además, este prototipo debe cumplir con la legislación y normativa aplicable.

Los requisitos principales que debe cumplir este patinete son las siguientes:

- La vida útil del longboard debe estar dentro del estándar de skateboards comerciales llevando un correcto mantenimiento del mismo. Esta vida útil depende de cada componente en concreto. En general una buena aproximación es de una inspección general cada 400 kilómetros y comprobar que todas las piezas estén en buenas condiciones y las que tengan fallas, volverlas a imprimir.
- Resistencia suficiente como para aguantar el peso del usuario y el peso de los elementos que lleven encima. Este prototipo se ha estudiado para una persona y mercancías de aproximadamente 90 kilogramos, pero el límite real del estudio es de 102 kilogramos.
- Capacidad de absolver impactos y tener una mayor estabilidad que un longboard tradicional
- Capacidad de poder transportar al usuario a una velocidad de unos 20 km/h de media durante una distancia de al menos 20 kilómetros.
- El diseño debe ser completamente modular, es decir, que se puedan crear piezas personalizables para cada usuario y sean compatibles con el modelo estándar.
- El uso de materiales reciclables y reutilizables para la mayor parte de las partes del patinete. De esta manera si alguna pieza falla, el material con el que esta creada, se pueda utilizar para realizar otras.

6.2. Requisitos impuestos por la legislación, normativa y reglamentación

Desde el punto de vista de la legislación, la normativa y la reglamentación aplicable, los principales condicionantes y requisitos de diseño de han dado a nivel de resistencia estructural y diseño del vehículo.

- Soportar un total de 80 kilogramos en estática.
- Capacidad para superar obstáculos de 20 mm de altura sin romperse.
- Capacidad de agarre mínimo en asfalto.
- Capacidad de absorción de impactos.

7. Análisis de soluciones

A lo largo del proyecto han surgido imprevistos que han hecho que el diseño cambie en gran medida durante el transcurso del mismo. A continuación, se presentarán los puntos donde han surgido estos problemas y el camino hacia la solución final. Los puntos principales de estos problemas son:

- Materiales
- Diseño
- Electrónica
- Simulación
- Impresión

7.1. Materiales

7.1.1. Elección de materiales

La gama de materiales en el mundo de la impresión 3D es bastante limitado actualmente. A diferencia de en otros procesos como la inyección de plásticos, en el cual la oferta de materiales es mucho más variada.

A partir de la oferta disponible en los proveedores europeos y locales de plásticos se decidieron elegir estos materiales:

- PLA (ácido poliláctico): Es el plástico más usado en la impresión 3D y es el más sencillo de imprimir. En contra, sus propiedades mecánicas son peores que las del resto de materiales.
- ASA (acrilato-estireno-acrilonitrilo): Es un plástico muy utilizado en la industria de la automoción, debido a sus propiedades mecánicas suficientes, una alta resistencia al desgaste y a la radiación UV.
- PETG + CF (Polyethyleno Terephthalato de Glicol + Fibra de carbono): El plástico es una variación del utilizado en las botellas. Con la incorporación del glicol se consigue que la rotura no sea tan brusca, ya que el PET produce muchas virutas que salen expulsadas a gran velocidad al romperse. Por otro lado, también se le ha añadido fibra de carbono a la mezcla. Las fibras añadidas le otorgan una mayor rigidez y fragilidad al plástico. Debido a esto las propiedades mecánicas de las piezas impresas en este material son bastante buenas.
- Nylon + CF: Actualmente este es el material que ofrece las mejores prestaciones mecánicas, están formados por poliamida 6/66 con fibras de fibra de carbono como el plástico anterior. En la industria de la inyección con estos plásticos se pueden llegar a igualar o superar las propiedades de algunos metales como es el caso de aluminio. En el mundo de la impresión 3D las propiedades son bastante más inferiores, pero aun así son superiores a las del resto.

7.1.1.1. *Obtención de propiedades*

En este punto había diferentes opciones. Determinar todas las propiedades mecánicas de un material es una tarea complicada y se necesita una gran cantidad de recursos. Por otro lado, las propiedades de una pieza impresa en 3D dependen de la dirección y orientación de la capa.

- La primera opción fiable es obtener la tabla de datos del fabricante, pero la mayoría de los fabricantes utilizan probetas creadas por métodos de fabricación diferentes a la impresión 3D por lo que las propiedades pueden ser diferentes.
- La segunda opción es realizar el ensayo de tracción en la máquina de ensayos. Realizando esta prueba se pueden llegar a obtener las propiedades esenciales para realizar una simulación de forma satisfactoria.
- La tercera opción es buscar e interpretar los resultados de otros estudios realizados en el pasado. De esta manera los costes son reducidos, pero los resultados de estos ensayos pueden no ser los buscados.

Al final se procedió con una mezcla de las tres. Debido a la imposibilidad de impresión de probetas en unas orientaciones determinadas, se realizaron solo los ensayos con la orientación favorable a las fibras. De esta manera se pueden comparar los resultados con los que los fabricantes presentan en sus bases de datos. También viendo los resultados obtenidos en otros estudios de propiedades mecánicas de probetas impresas, se pueden extrapolar esos resultados y aplicarlos a este proyecto.

Entre los resultados obtenidos de los ensayos en la máquina de tracción y las bases de datos, se eligieron los más desfavorables. A partir de estos se aplicaron unos coeficientes de reducción para obtener los resultados en las otras direcciones.

7.1.1.2. *Elección final*

La decisión final fue la de utilizar todos estos materiales, aunque cada uno para una cosa diferente. Para esto también se tuvieron en cuenta los resultados de las simulaciones mediante elementos finitos bajo el programa ANSYS Workbench.

El PLA se utiliza para la creación del primer prototipo y ver la viabilidad de la impresión del mismo. Debido a su bajo coste y facilidad de impresión se procede a realizar las primeras pruebas con la impresora y la configuración de la misma para cada una de las diferentes piezas del longboard.

El ASA se utiliza para las partes intermedias de la tabla y las ruedas del longboard. Se eligió este material debido a su mayor capacidad de deformarse que el resto ya que en esas piezas del patinete se requiere de una mayor elasticidad.

El PETG con fibra de carbono se va a utilizar en los extremos de la tabla, debido a que ahí es el lugar por donde se apoya la tabla al truck y además tiene que tener a suficiente rigidez como para poder dirigir la dirección de las ruedas.

El Nylon con fibra de carbono se utilizarán para las piezas que requieres de una mayor capacidad tensional. Estas piezas son todas las que forman las suspensiones, bujes de las ruedas y truck del longboard.

7.2. Diseño

El diseño se ha realizado con el programa de CAD 3D Solidworks. La fase de diseño se constó de 3 partes.

- Pre-diseño o diseño inicial
- Diseño final
- Optimización del diseño

Cabe destacar que durante el diseño y simulación del longboard se ha sufrido con una serie de problemas, unos más importantes que otros, pero al final todos fueron subsanados y se consiguió llegar a un diseño final que cumpliera todos los requisitos establecidos.

7.2.1. Pre-diseño

El longboard se diseñó desde cero, solo se tuvieron en cuenta las medidas generales de estos. Esto es debido a que se requería de un sistema de suspensión independiente, que los patinetes actuales no poseen y que debería estar impreso en 3D, cosa que, con los diseños actuales de los skates, las concentraciones de tensiones serían muy superiores a las que cualquier material impreso en 3D pueda resistir.

Las referencias que se tomaron para la realización del pre-diseño fueron las medidas de un longboard convencional y los sistemas de suspensión de los coches comerciales, de competición y formulas. Una vez obtenido este diseño se procedió a la simulación de este y se descubrieron grandes problemas con su diseño de suspensiones y el diseño general del longboard. Los errores encontrados fueron los siguientes.

- Giros con el longboard: Con el pre-diseño el longboard era incapaz de realizar un giro de forma satisfactoria. Al estar bloqueado el giro independiente de las ruedas. La única capacidad de giro que tenía era con el balance de masas del usuario. Este fue un factor fundamental por el que el diseño tuvo que ser remodelado.



Ilustración 8. Primer diseño del longboard

- La reducción de las tensiones: Otro gran problema con el que hay que enfrentarse en el diseño de piezas y máquinas fabricadas en plásticos es la pequeña capacidad tensional que son capaces de soportar. Entonces con el diseño inicial del patinete se generaban ya unas tensiones bastante elevadas solamente soportando al individuo y sus pertenencias personales estáticamente.
 - Rediseño del sistema de suspensión: El primer diseño del sistema de suspensión delantera era inviable realizarlo debido a este mismo motivo. Las realizaciones de uniones con más de un grado de libertad son complicadas de realizar mediante impresión 3D, por la falta de capacidad de resistencia del material, por lo que la realización de un sistema de suspensión push-rod horizontal basado en los sistemas de suspensión de los coches de competición.



Ilustración 9. Suspensión de un LMP2

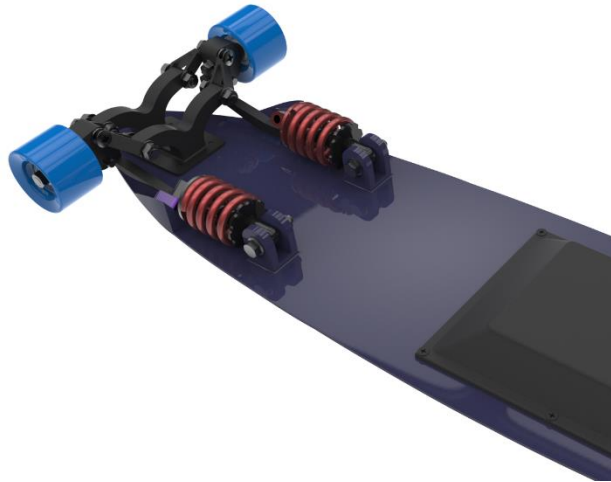


Ilustración 10. Primera suspensión del longboard

- Soporte del motor: El soporte del motor antiguo no permitía el movimiento del motor con la rueda cuando giraba o desplazaba en el plano vertical. Cuando la rueda giraba para hacer rotar al longboard o desplazaba gracias a la compresión de la suspensión, la distancia y ángulo entre centros de las poleas variaban y sería imposible utilizar un sistema de transmisión mediante correas, la cual es la más utilizada en estos vehículos.

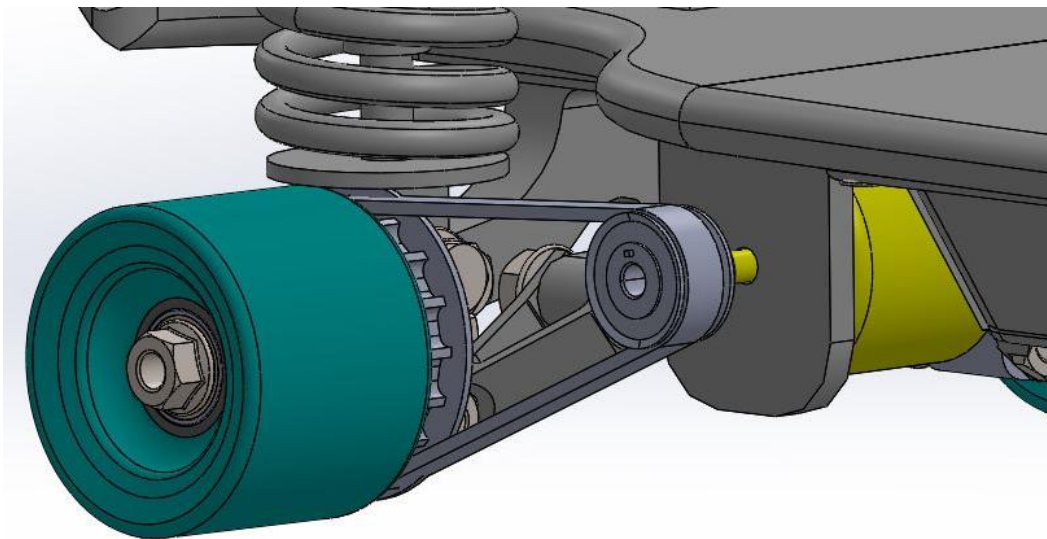


Ilustración 11. primer soporte del motor

A partir de estos problemas observados en el pre-diseño se rediseñaron las partes más problemáticas del patinete.

7.2.2. Diseño final

A partir del feedback obtenido al realizar el pre diseño, se procedieron a mejorar todos los aspectos que fallaron en estos.

El sistema de suspensión ha sido completamente rediseñado uno específico para este patinete. Al tener el requisito de utilizar un sistema de suspensión independiente, el diseño se ha basado otra vez en los vehículos de competición. En cambio, en esta ocasión el enfoque ha sido diferente, ya que esta vez se centró el diseño en la funcionalidad en vez del diseño puramente estético.

El principal fallo del diseño anterior era la falta de capacidad de giro. Para ello se remodelo un nuevo steering knuckle o también llamado en este proyecto buje. De esta manera se permite el giro respecto el eje vertical. Por otro lado, En este nuevo diseño los brazos de la suspensión se conectan tanto a la parte inferior como a la superior y los tres brazos se unen mediante cuatro uniones atornilladas al truck del longboard.

Por otro lado, el buje y la pieza de debajo tuvo que ser modificado unas cuantas veces debido a que en el estudio de la hipótesis 3 siempre resultaban con tensiones superiores a la máxima permitida que es de 86 Mpa. Para ello se amplió la anchura del buje en su parte inferior, se agrando el espesor de la base y se colocó una pieza fabricada en TPE, el cual es un material elástico, para absorber una parte de las tensiones producidas al levantarse por bache. Como se puede observar en las hipótesis realizadas en el programa de elementos finitos, estas optimizaciones funcionaron tal y como se había planeado.

Siguiendo con el sistema de suspensión, tanto la pieza como el truck fueron modificados. Inicialmente se atornillaban mediante 4 tornillos de M4, pero después de realizar las simulaciones en el programa de elementos finitos se llegó a la conclusión de que este número tenía que ser sustancialmente mayor y al final se optó por unirlos mediante 12 tornillos de M4. De esta manera las tensiones se vieron distribuidas de una mejor manera y las tensiones máximas producidas en esa zona estaban en el rango de los 55 MPa. Por otro lado, había lugares donde se producían grandes concentraciones de tensiones, estos lugares estaban situados en la unión de los brazos de suspensión superiores y el truck. Para reducirlos hubo que rediseñar esa zona, eliminando puntos críticos mediante redondeos y añadiendo material.

El sistema de fijación del motor está actualmente diseñado en la pieza denominada buje, de esta manera se evita el problema de que al pasar por un bache o al girar la correa no pueda funcionar de manera adecuada o directamente haga que falle todo el sistema debido a sobrecargas tensionales.

Por último, cabe destacar el diseño del sistema de dirección. Este sistema es una variación de los utilizados en la automoción. La principal dificultad de su diseño fue la discretización de los grados de libertad necesarios para que el sistema funcionara. Esto se tuvo que hacer debido a la imposibilidad de la impresión de rótulas con una resistencia suficiente como para aguantar las solicitaciones de resistencia. Una vez discretizados en sistemas de grados de libertad 1, el diseño fue bastante llevadero y es completamente funcional. Este sistema de dirección se puede observar en el punto de dirección del siguiente apartado.

7.2.3. Piezas optimizadas del diseño final

A continuación, se muestran las piezas del diseño final ya optimizadas.

7.2.3.1. Truck

En la siguiente ilustración se muestra el diseño final del truck del longboard. En ella se puede apreciar la gran cantidad de redondeos y formas complejas realizadas en las 3 dimensiones.

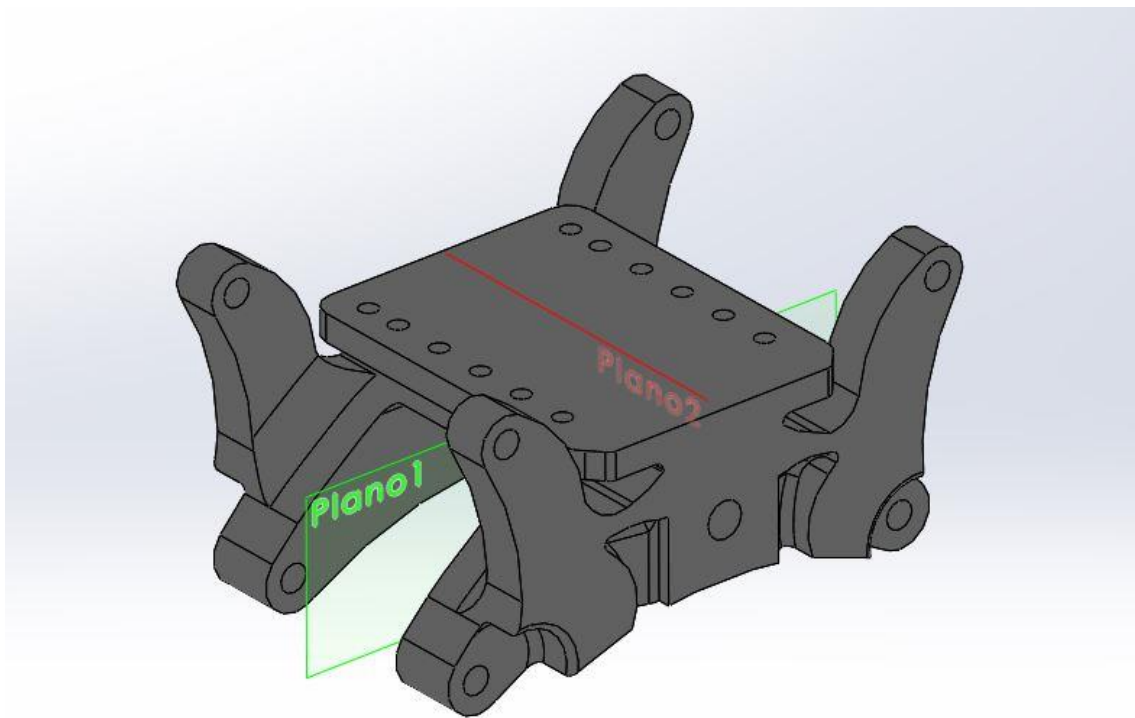


Ilustración 12. Truck del longboard

7.2.3.2. Barras inferiores del sistema de suspensión

En la siguiente imagen se muestra la pieza que es la barra inferior del sistema de suspensión. Además, como añadido, se unieron para así distribuir de mejor forma las tensiones como se puede apreciar en el anexo de los resultados de las simulaciones.

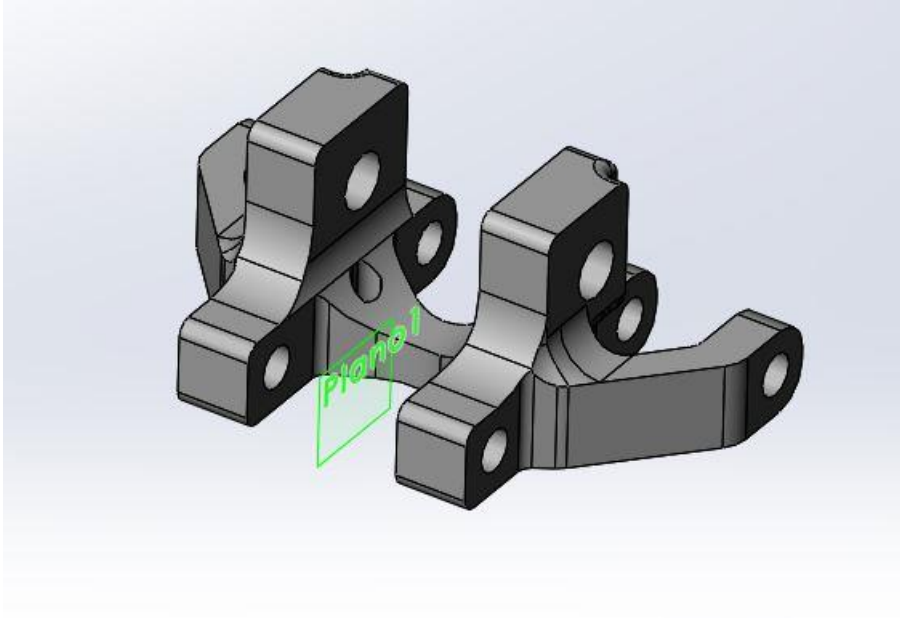


Ilustración 13. Barra inferior del sistema de suspensión

7.2.3.3. Barras superiores del sistema de suspensión

En la siguiente ilustración se muestra una barra de la parte superior de la suspensión. A diferencia que la anterior sus brazos no están unidos por la falta de espacio disponible.

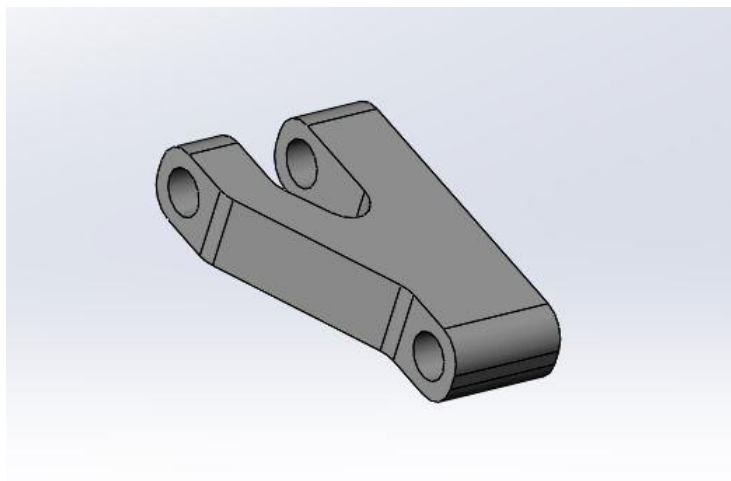


Ilustración 14. Barra superior del sistema de suspensión

7.2.3.4. Bujes

En las siguientes ilustraciones se muestran los dos tipos de bujes que hay en el longboard, con soporte para el motor y sin él.

7.2.3.4.1. Con motor

En primera instancia se muestra el que tiene integrado el soporte del motor especialmente diseñado para la transmisión diseñada en el presente proyecto.

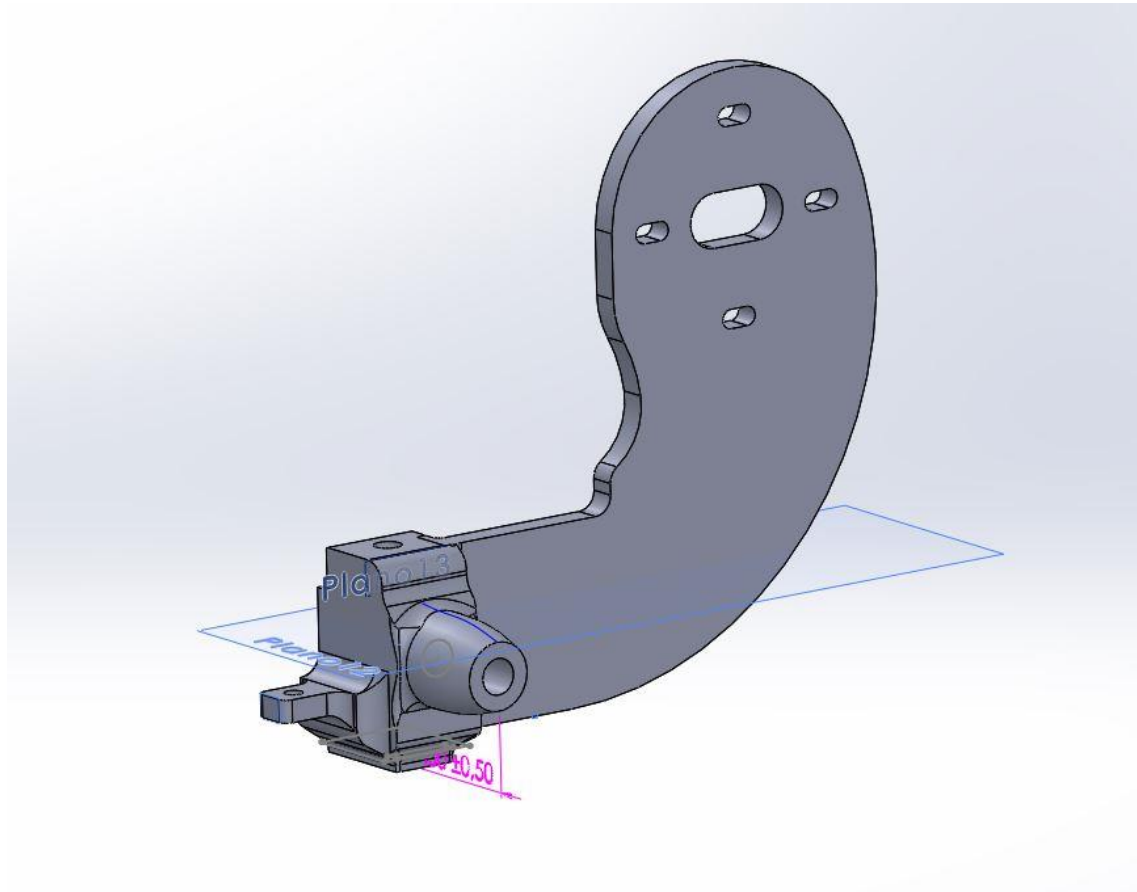


Ilustración 15. Buje con soporte del motor

7.2.3.4.2. Sin motor

En este segundo apartado se muestra la misma pieza anterior, pero esta vez no tiene incorporado el soporte para el motor.

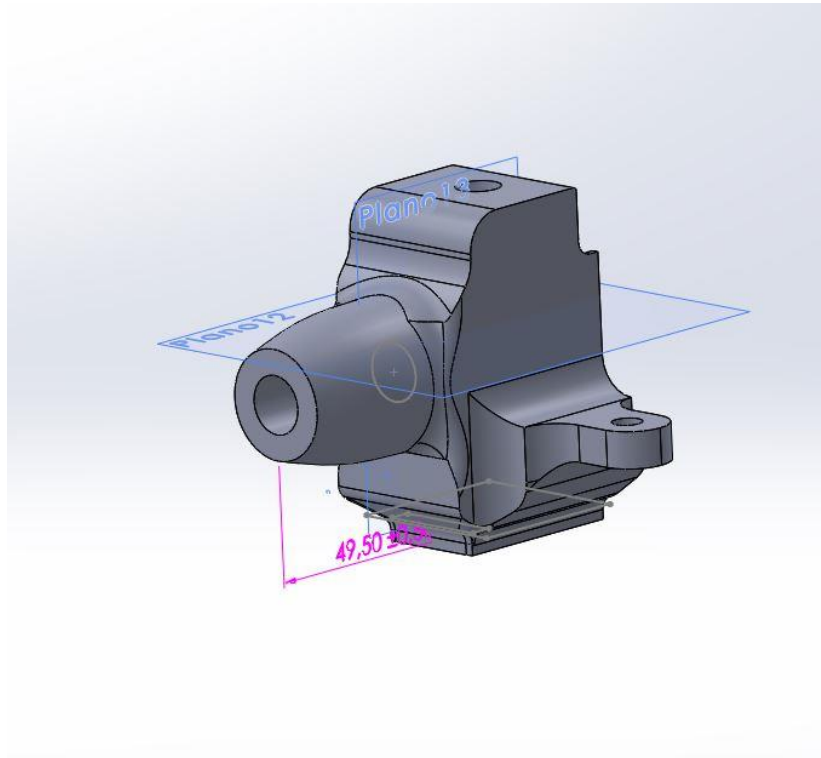


Ilustración 16. Buj del longboard

7.2.3.5. Pieza superior del buje

En la siguiente captura se muestra la pieza que une el buje con las barras de dirección superiores y permite a las ruedas girar.

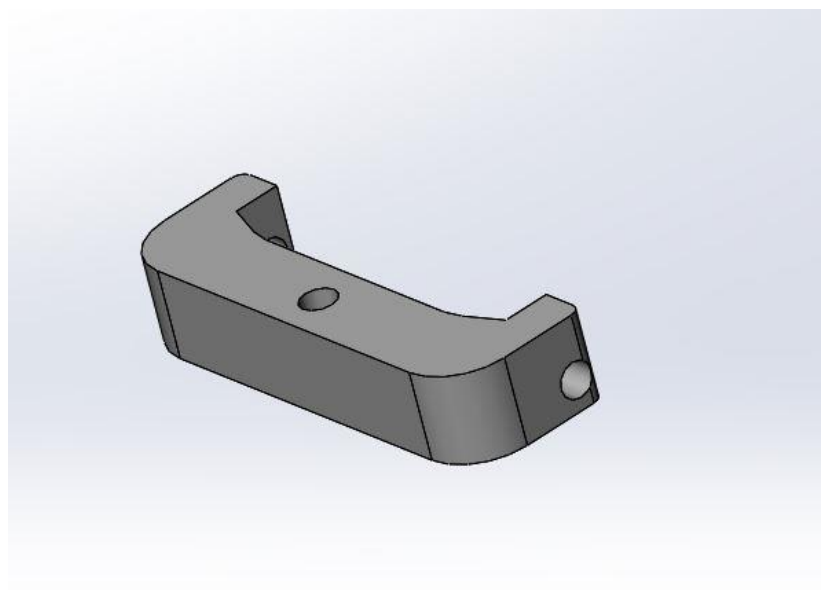


Ilustración 17. Pieza superior del buje

7.2.3.6. Pieza inferior del buje

De igual manera que en el apartado se mostró la parte superior, en este se muestra la pieza que va en la parte inferior haciendo la misma función que la pieza anterior.

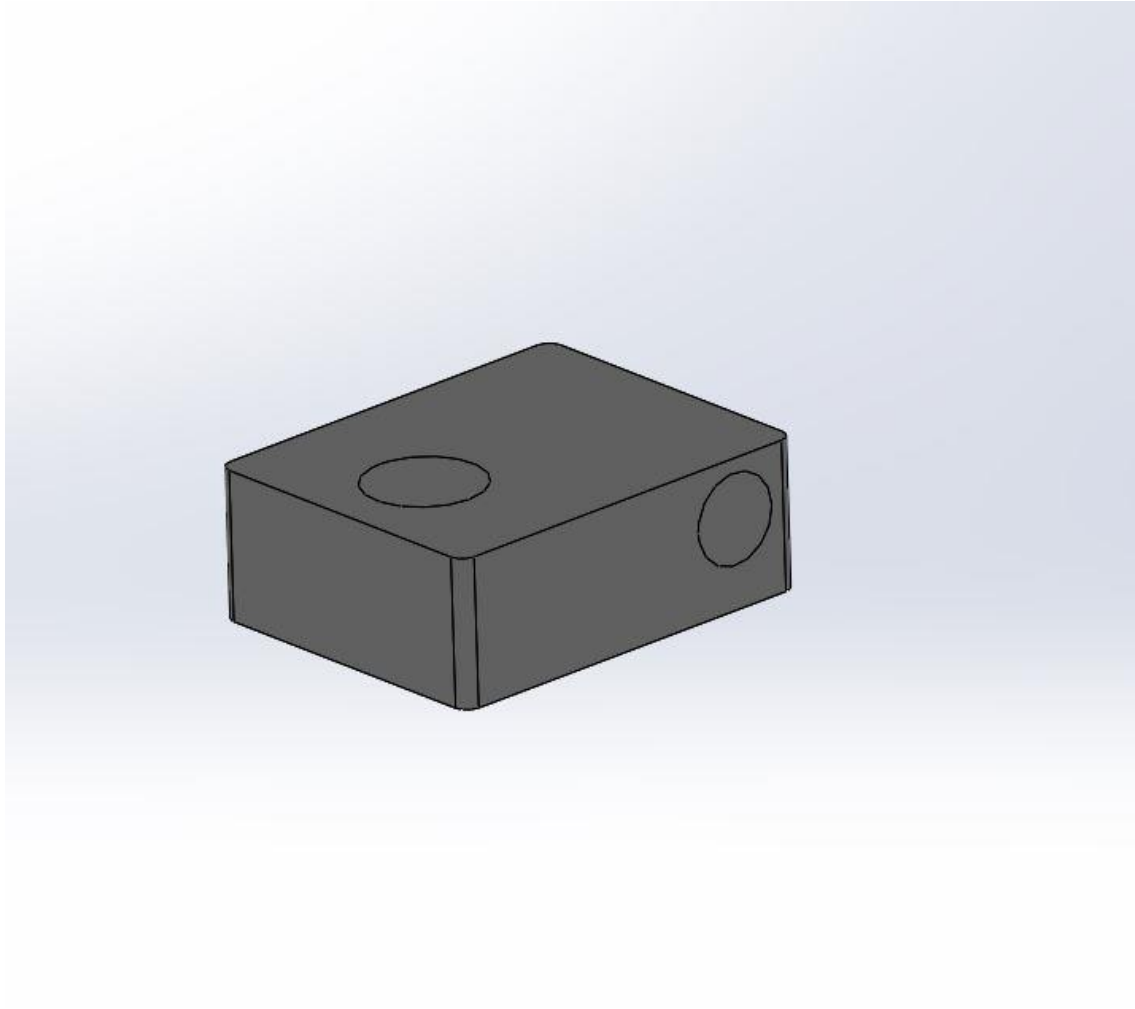


Ilustración 18. Pieza inferior del buje

7.2.3.7. Soporte del amortiguador

Siguiendo con la lista de piezas realizadas para este longboard. A continuación, se muestra la pieza que conecta el amortiguador con el truck del patinete. Como se puede observar hay una gran cantidad de punto de unión cuya función es distribuir las tensiones de la mejor forma.

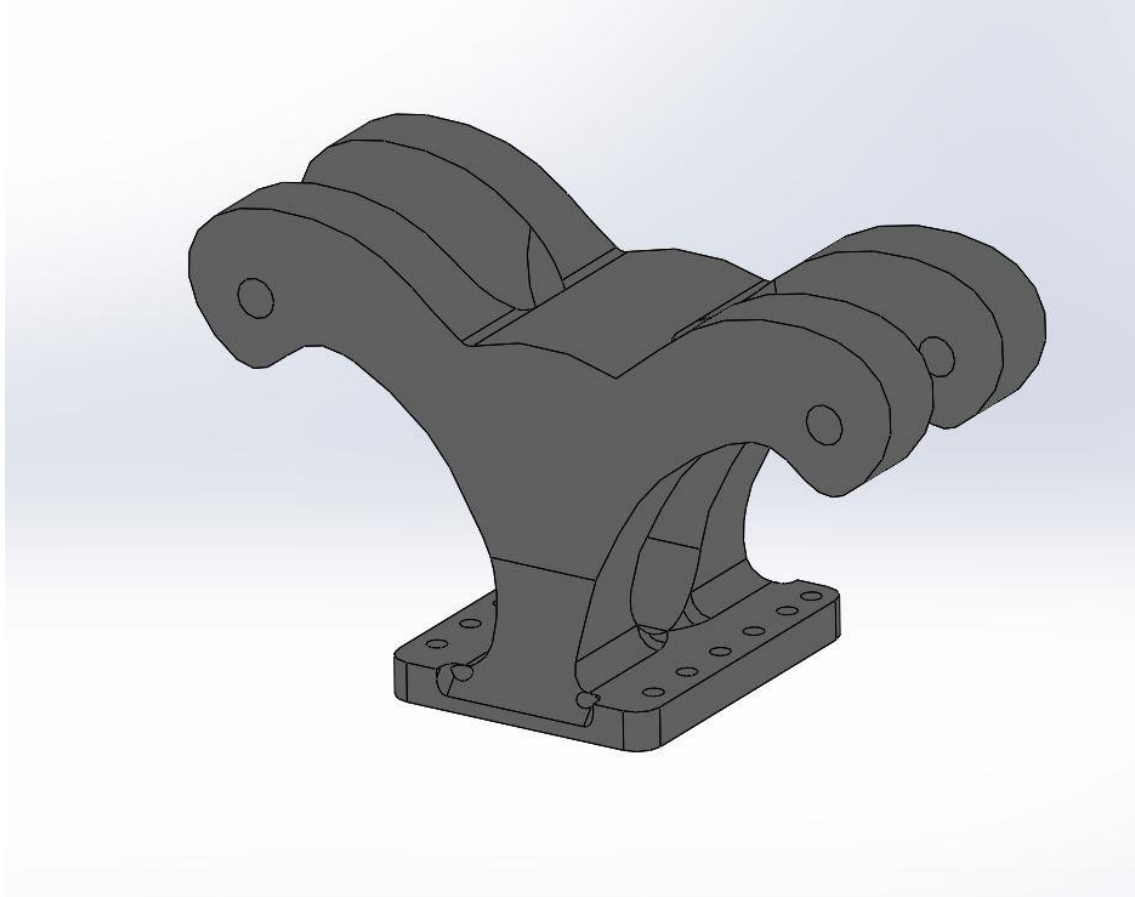


Ilustración 19. Soporte de la suspensión

7.2.3.8. Tabla

Continuando con la lista de piezas se muestra a continuación la tabla dividida en 5 partes independientes para poder ser impresas en la impresora documentada en este proyecto. Además, como se indica las dos piezas más externas están diseñadas para utilizar otro material diferente que las piezas centrales

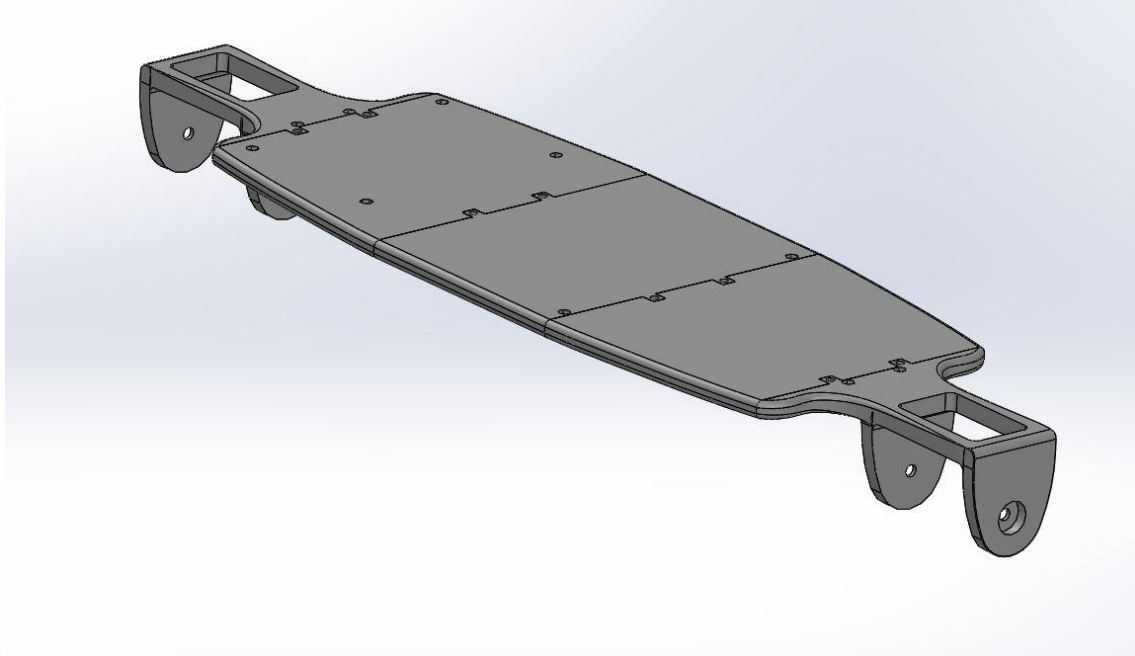


Ilustración 20. Tabla completa del longboard

7.2.3.9. Dirección

Las últimas piezas mostradas son las que forman el sistema de dirección del longboard eléctrico. Las piezas diseñadas tienen los mismos grados de libertad que los usan las barras de dirección reales por medio de rótulas.

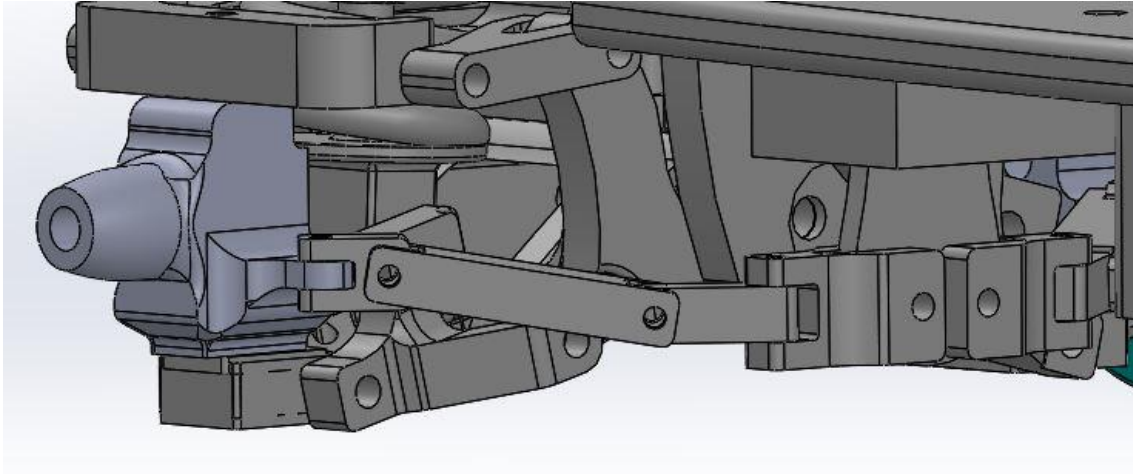


Ilustración 21. Sistema de dirección

7.2.3.10. Completo

Por último, se muestran dos ilustraciones que muestran el aspecto final y todas las piezas que forman el longboard eléctrico. Siendo la primera captura una vista desde la parte del skate y la segunda desde la parte trasera.

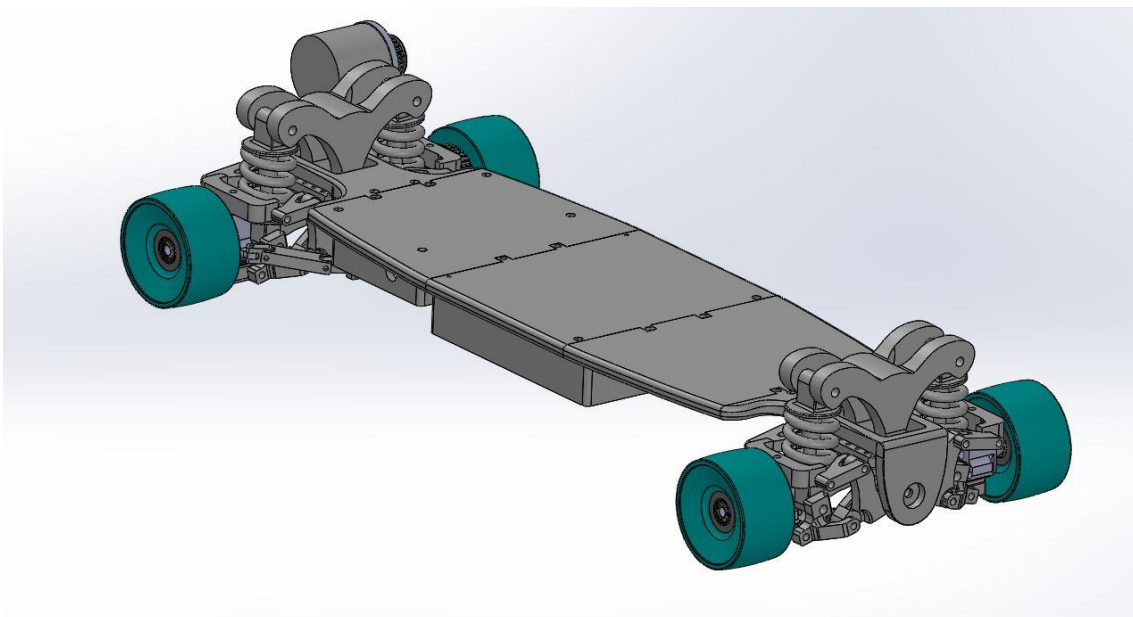


Ilustración 22. Vista delantera del longboard

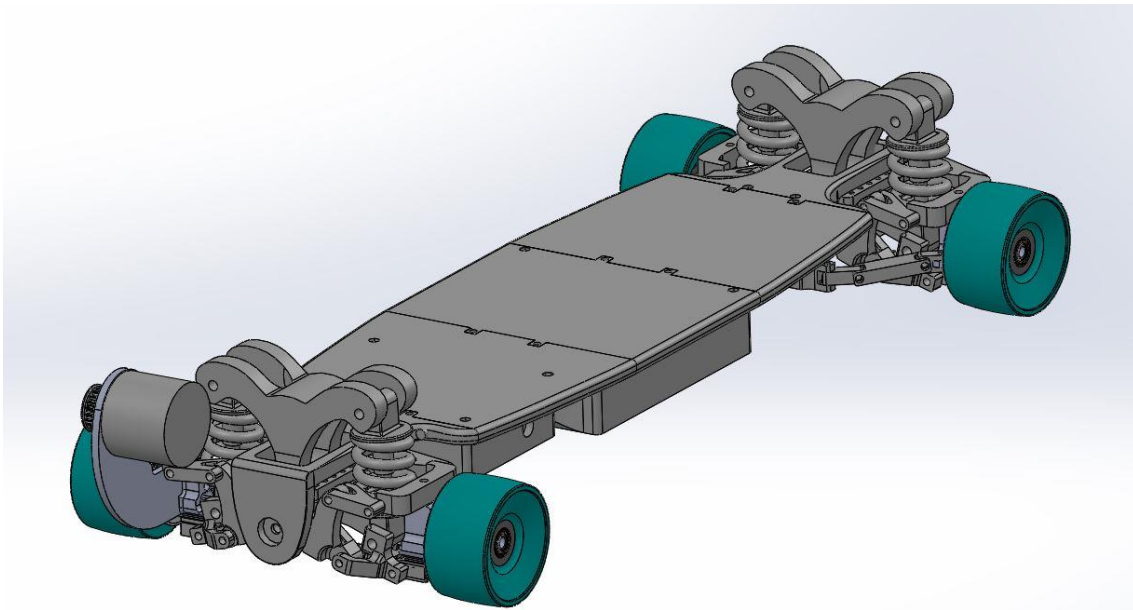


Ilustración 23. Vista trasera del longboard

7.3. Electrónica

Una de las tareas más importantes del diseño de un longboard eléctrico es la elección o diseño, puesta a punto y mantenimiento de la electrónica del patinete.

Los componentes necesarios para su utilización no difieren en gran medida de los utilizados en los radio-contrroles convencionales, aunque estos están preparados para vehículos eléctricos como son los longboard eléctricos. Los componentes necesarios son los siguientes.

7.3.1. Emisor y receptor

A un nivel básico, son los elementos que se encargan de transmitir y recibir la información de manera inalámbrica del mando. La forma más habitual de transmisión de información es mediante ondas de radiofrecuencia, aunque los modelos más básicos usan tecnología infrarroja o bluetooth. Antiguamente las bandas utilizadas eran de 27 MHz, pero actualmente se utilizan las de 2,4 GHz con un mayor alcance y menor capacidad de interferencias con otras emisoras. Cabe destacar que para emisiones de video en directo como se utilizan en los drones actuales se utiliza la banda de 5 GHz con una mayor velocidad y menor latencia.



Ilustración 24. Radio de RC común

El mando o emisor se encarga de convertir la acción del usuario, variando las resistencias de los potenciómetros mediante sus gatillos, en señales de radio que el receptor recibe e interpreta como órdenes y las envía al ESC para modificar la velocidad de rotación del motor.

Hay dos tipos principales de mandos, los que se controlan mediante sticks o el tipo pistola, como el de la foto anterior. Los primeros son más utilizados en aeromodelismo debido a la gran cantidad de parámetros que hay que ir variando durante el vuelo. Los segundos son los más usuales en coches de radiocontrol y también en los longboard eléctricos.



Ilustración 25. Emisora de 8 canales

Por ejemplo, en un coche de radiocontrol eléctrico convencional solo se necesitan dos canales para realizar los siguientes movimientos:

- Aceleración y freno
- Dirección

Por el contrario, en un helicóptero de radiocontrol de paso colectivo, mínimo se necesitan 6 canales para realizar los siguientes movimientos:

- Giros respecto el eje vertical
- Giros a izquierda y derecha
- Desplazamiento hacia adelante y hacia atrás
- Aumento y descenso de la altitud
- Vuelo invertido o 3D

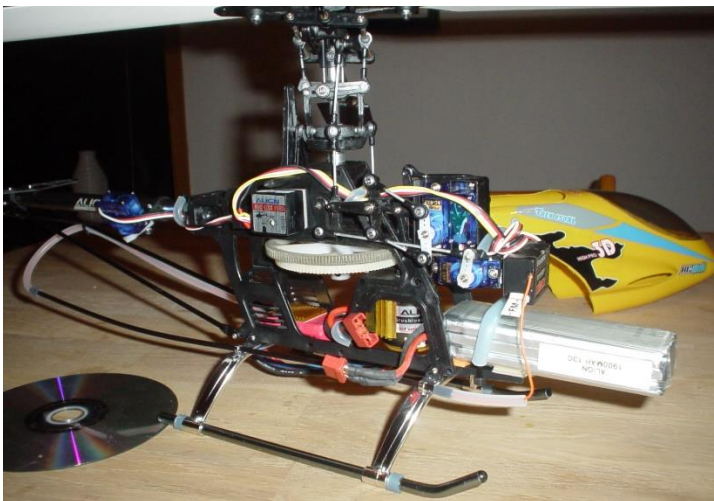


Ilustración 26. Helicóptero RC de tamaño 450

Como se pueden observar en la fotografía los 6 GDL de un helicóptero de paso colectivo. Tres servos delanteros se encargan de variar las posiciones e inclinaciones de las palas del rotor principal, otro servo trasero se encarga de

variar la inclinación de las aspas del rotor trasero, la velocidad de rotación del motor trasero y la velocidad de rotación del motor principal.

Ya centrándose en el longboard eléctrico solo se necesitará un canal que se encargue de variarla velocidad de rotación del motor principal. En el caso de que fuera un patinete bimotor se necesitarían dos canales. Por la similitud en los canales a utilizar en un patinete eléctrico, la comunidad de longboard eléctricos utilizan las emisoras y receptoras de los coches de radiocontrol.

7.3.2. Baterías recargables

Las baterías recargables son los componentes que se encargan de almacenar y distribuir la energía eléctrica necesaria para que el vehículo funcione de la forma deseada. Tienen como característica principal que pueden ser recargables.

Hay diferentes tipos de baterías recargables dependiendo de su composición química.

- NiCd
- NiMH
- Plomo-ácido
- Li-Po

Esta última es la más utilizada tanto para vehículos eléctricos, como radiocontroles y prácticamente cualquier aparato electrónico portátil con baterías recargables. Cabe destacar que la nomenclatura polímero de las baterías es puramente comercial. Realmente dentro de esa categoría hay otras subcategorías de baterías como son las Li-Co, NMC y LiFePO₄. Siendo las NMC las más especializadas en situaciones en las que se necesite una gran cantidad de energía en un corto espacio de tiempo.

Otro punto primordial en la elección de las baterías es su voltaje nominal, siendo 3,6 voltios en la mayoría de las baterías de litio. Siendo 4,2 voltios el valor de carga máxima por celda y 3-3,2 voltios el valor de descarga máximo, ya que si se superan estos valores las baterías pueden quedar gravemente dañadas e incluso ocasionar mayores desgracias.

También cada modelo batería es diferente a los demás, por lo que hay que fijarse en las especificaciones de cada una. Los datos más importantes de una batería son los siguientes:

- Número de celdas: Determina la diferencia de potencial de la batería. Como se ha dicho anteriormente el valor nominal de una celda es de 3,7 voltios. Estas celdas pueden apilarse y crear baterías con un voltaje mayor.

Por ejemplo, una batería 3s, tendrá una diferencia de potencial nominal de 11,1 voltios, ya que se trata de una batería de 3 celdas.

- Capacidad de almacenamiento de energía: Este valor se suele expresar en mAh. Cuanto mayor es este número más energía eléctrica puede almacenar y, por consiguiente, durará más. El problema es que el peso y tamaño aumentan con ella, por lo que hay que encontrar el punto óptimo entre capacidad/peso-tamaño.
- Capacidad de descarga: Este valor viene siempre indicado en todas las baterías, se indica mediante un número seguido de C, siendo C la capacidad de la batería. Significa la cantidad de amperaje que es capaz de suministrar de manera continua. Por ejemplo, una batería de 10000mAh con una capacidad de descarga de 20C, significa que puede suministrar 200 amperios de manera continua sin que se produzcan grandes fluctuaciones ni que pueda haber problemas de sobrecalentamiento o explosiones. También está el valor de capacidad de entrega de amperaje momentáneo, este valor suele ser sustancialmente mayor y es la capacidad que tiene la batería para entregar un valor de corriente durante un corto periodos de tiempo y no de manera constantes.
- Capacidad de carga: Se mide exactamente igual que la de descarga, pero en este caso lo más recomendable es cargarla entre 1 y 0,5 C, aunque siempre hay la posibilidad de cargarla a mayor velocidad si el cargador es capaz de suministrar esa cantidad de energía y las especificaciones de la batería lo permiten.

En la siguiente ilustración se pueden observar todos los parámetros anteriormente descritos.



Ilustración 27. Batería de 3 celdas

Cabe destacar que este tipo de baterías requieren de un tipo de carga especial que se tratará en el siguiente punto

7.3.3. Cargador

Como se ha dicho en el apartado anterior no hay que dejar descargar la batería a menos de 3,2 voltios para que este dentro de una franja de trabajo seguro. Tampoco hay que cargarlas a un máximo de 4,2 voltios, pero este es un valor que los cargadores de baterías Li-Po viene por defecto y no permiten sobrecargarlas. Por otro lado, es conveniente cargarlas dentro de una bolsa ignífuga para evitar daños mayores si se produce algún problema durante la carga.

Las baterías a parte tienen que estar niveladas con la misma diferencia de potencial para que funcionen de forma correcta. Si una celda no está balanceada correctamente ocasiona daños graves a la batería, pudiéndola dejar inutilizable. Por esto los cargadores actuales tienen la función de balanceo, para así evitar que haya grandes diferencias de potencial entre celdas.

Entrando en detalles de la forma de carga, lo más recomendable es cargar las baterías con un amperaje de 0,5 y 1C. Esta es la manera con la que se consigue una mayor vida útil. También los fabricantes especifican la intensidad máxima con la que se puede cargar. Como se señaló con anterioridad, solo se debería utilizar este valor máximo en las pocas ocasiones cuando se necesite urgentemente la batería cargada.

7.3.3.1. Proceso de carga

El proceso de carga está muy estudiado y se ha demostrado que tiene que seguir el siguiente gráfico. El gráfico muestra el proceso de carga de una celda con una capacidad de 1000 mAh

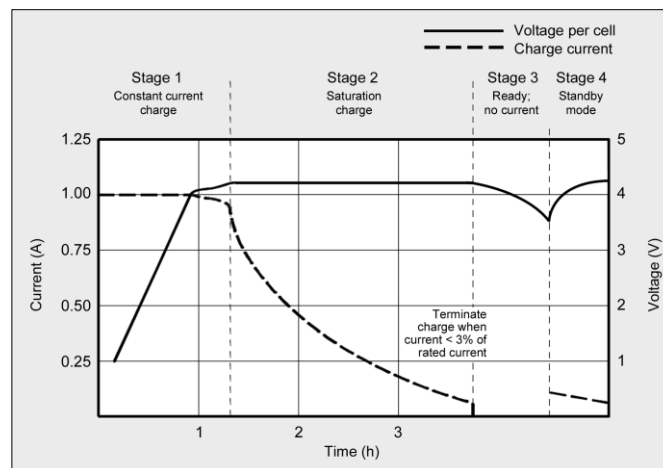


Ilustración 28. Proceso de carga de una batería

Primero hay que cargar la batería con la intensidad máxima estipulada en el cargador, en este caso 1C. Después, una vez que se llega a la zona de saturación se va disminuyendo la intensidad de manera paulatina. Cuando se finaliza la etapa de saturación termina

el proceso de carga. Este es el proceso de carga teórico, pero la mayoría de los cargadores están en la zona de saturación menos tiempo para realizar la carga de una manera más rápida.

7.3.3.2. Almacenamiento

Una batería de litio no debe almacenarse de cualquier manera ya que se puede dañar seriamente sino es guardada de la manera correcta.

Una batería debe ser almacenada con una carga entre el 40 y 60%, de esta manera se consigue que su capacidad y vida útil sea reducida lo menor posible.

7.3.4. ESC

El ESC es el controlador de velocidad del motor. Se puede hacer el símil de que el cerebro del patinete. Hay diferentes diseños de ESC dependiendo de la aplicación del mismo, es decir, si será para un coche, avión y helicóptero de radiocontrol, bicicleta, patinete.

Este proyecto se va a centrar en los ESC diseñados para longboards eléctricos. Tradicionalmente se han utilizado los ESC de aviones debido a su capacidad de entregar una gran cantidad de amperios sin sobrecalentarse o fallar.

7.3.4.1. VESC

Desde hace un tiempo atrás se empezaron a diseñar ESC específicos para longboards eléctricos. Uno de los más importantes es el VESC, el cual es un ESC de código abierto diseñado por Benjamin Vedder. Tanto el software como el hardware necesario para hacer funcionar el VESC es completamente libre.

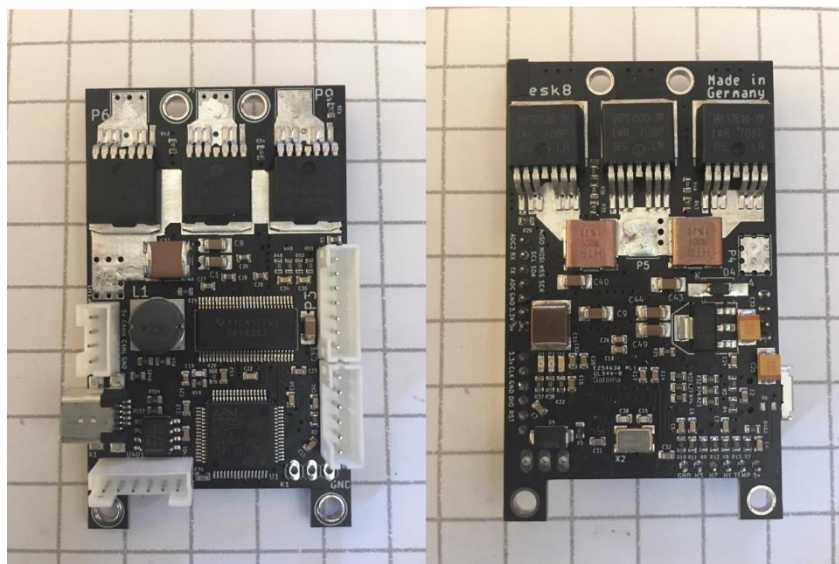


Ilustración 29. PCB de un VESC

En la fotografía anterior se muestran tanto la parte delantera y trasera de la PCB del VESC.

7.3.4.1.1. Características

El VESC tiene las siguientes características:

- Soporta baterías desde 3S hasta 12S, pero su margen teórico va desde 8 voltios a 60 voltios.
- Tiene una capacidad de entregar una corriente de 60 Amperios de manera constante, pero este valor puede aumentar o reducir dependiendo de la refrigeración y las condiciones ambientales de donde está colocado. También puede soportar una entrega de 240 amperios durante un corto periodo de tiempo.
- La PCB tiene unas dimensiones de 40 x 60 milímetros
- Soporta motores Brushless sensorless y sensored.
- Utiliza un microcontrolador STM32F4. Este microcontrolador utiliza un microprocesador ARM Cortex M4 de 32 bits a 180 MHz.
- Permite frenada regenerativa. Esto significa que cuando se activa la frenada con el mando, la energía que se genera sirve para cargar las baterías y así conseguir una mayor autonomía.
- Permite la obtención de datos en tiempo real, estos datos son los siguientes:
 - Potencia utilizada por el motor
 - El porcentaje del ciclo de trabajo del motor
 - Velocidad eléctrica del motor
 - Amperaje enviado por la batería
 - Amperaje necesitado por el motor
 - Temperatura de los MOSFET
 - Energía gastada
 - Batería cargada mediante la frenada regenerativa
 - Voltaje de la batería y el número de vueltas del motor
 - En el caso de los motores sensored la posición exacta del motor
- Tiene diferentes configuraciones de uso, BLDC y FOC, siendo el primero el más recomendado. El primero es el propio microcontrolador es que se encarga de realizar todos los procesos de control de manera automática, en cambio, el modo FOC es manual. Con el segundo método se puede conseguir el máximo rendimiento del mismo, pero sino se realiza correctamente, terminará con la destrucción del VESC.

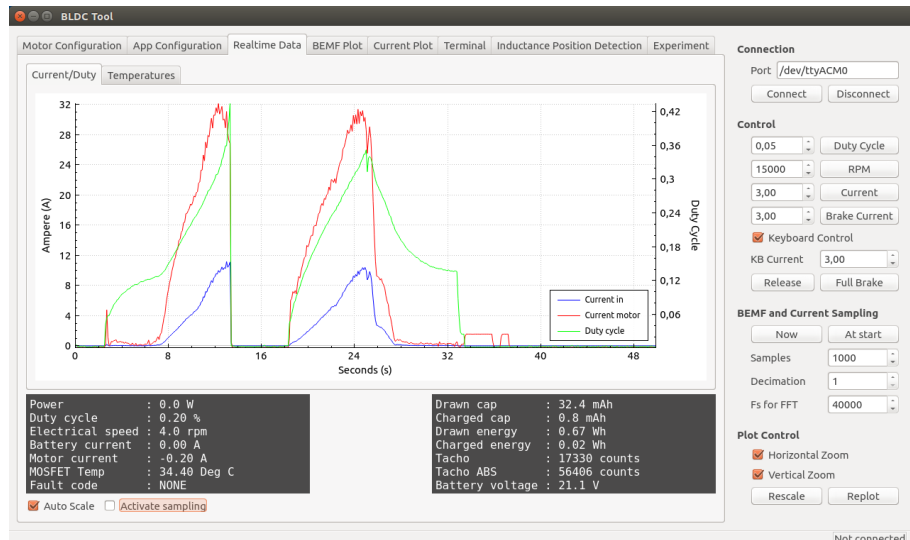


Ilustración 30. Datos a tiempo real del VESC

En la fotografía anterior se muestran los datos recibidos mediante las opciones de datos en tiempo real.

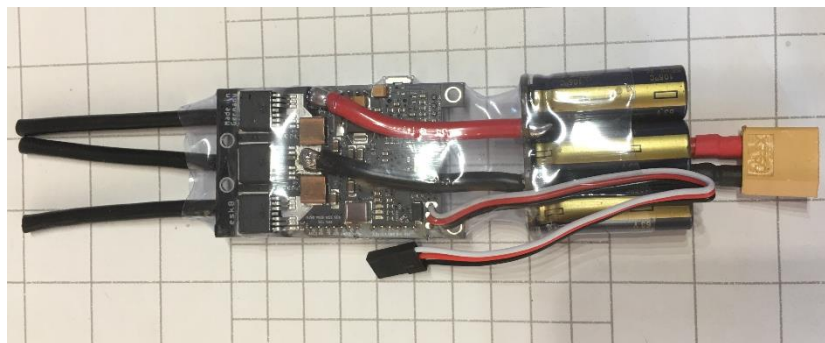


Ilustración 31. VESC completo

7.3.5. Motor

El motor es la pieza encargada de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Tal y como el resto de componentes hay diferentes tecnologías, en este caso hay dos principales.

- Motores Brushed: Son motores convencionales con escobillas, requieren menor mantenimiento y su control es más sencillo
- Motores Brushless: Son motores sin escobillas. Estos motores son los más utilizados actualmente ya que las debilidades respecto a los brushed fueron resueltas. A partir de ahora el proyecto se centrará en estos motores debido a que son los que se van a utilizar.

7.3.5.1. Motor Brushless

Es un motor síncrono con roto de imanes permanentes, siendo la sincronización del estator realizada mediante métodos electrónicos. Las mejoras que se producen respecto los otros motores son las siguientes:

- Mayor velocidad entregando el mismo par
- Buena respuesta dinámica
- Rendimiento elevado
- Reducido mantenimiento
- Frecuencia de trabajo variable >>> mayor rango de velocidad (no tienen limitación mecánica).
- Alta densidad de potencia (relación potencia-peso, potencia-volumen).
- Menor ruido electrónico (menos interferencias con otros circuitos).

Se pueden dividir en dos categorías:

- **Sensored:** Estos motores llevan un sensor de efecto Hall que les permite saber de una manera más precisa la posición del estator y así beneficiar la sincronización. En cambio, a altas velocidades tiene un rendimiento peor que el sensorless.
- **Sensorless:** Es el mismo motor que el anterior, aunque esta vez no tiene sensor de efecto Hall. En estos motores al no llevar sensor, la sincronización se produce mediante el análisis de la fuerza contraelectromotriz que varía en una onda de forma trapezoidal.

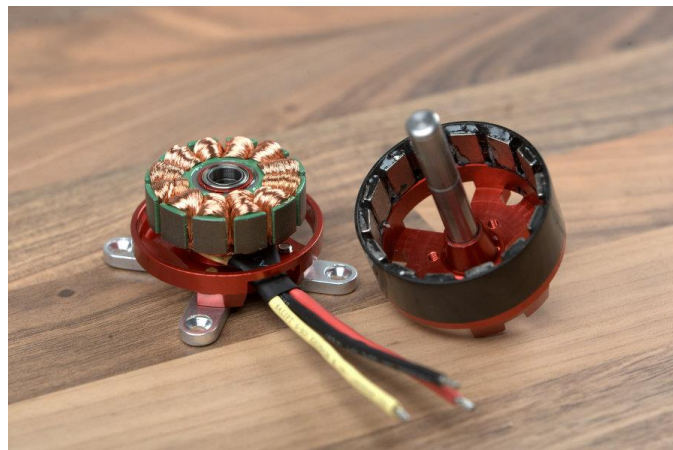


Ilustración 32. Motor Brushless desmontado

Estos motores se alimentan por trenes de pulsos de corriente continua debidamente desfasados. Normalmente a dicha corriente se le da un formato escalonado o incluso trapezoidal. En la siguiente figura se muestra a modo de comparación, las salidas de los sensores Hall de un motor sensored y la fuerza contraelectromotriz de un motor sensorless.

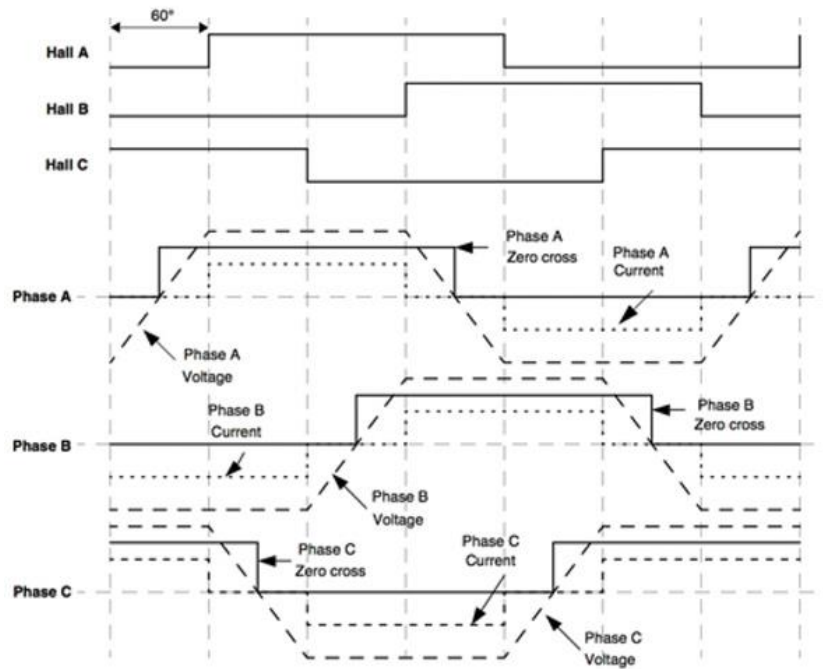


Ilustración 33. Gráfica de control de un motor Brushless

Una combinación de los tres puntos de cruce cero de las bobinas se utiliza para determinar la secuencia de activación de cada bobina. Hay que tener en cuenta que hay una diferencia de fase, entre una salida de cambio del sensor Hall individual en un motor BLDC convencional y el punto de cruce cero de la fuerza contraelectromotriz para una bobina individual de un motor sensorless, de 30 grados. Por ello, en un circuito de control del motor sensorless, después de detectar el punto de cruce cero, se debe generar un desfase de 30 grados mediante el firmware antes de que se active la siguiente acción en la secuencia de excitación. En la imagen anterior, las líneas con guiones cortos indican la corriente en las bobinas.

7.3.6. Switch On/Off

Para conectar y desconectar las baterías se necesita un interruptor. El problema es que se generan grandes potencias en el sistema y se necesita algún sistema de protección, ante chispazos, subidas de tensión y corrientes inesperadas, para el VESC y el resto de la electrónica. Para ello se le incorpora un fusible con una capacidad de corriente máxima de 60 amperios.

Este protector fue diseñado también por Benjamin Vedder, el diseñador del VESC

7.4. Simulación

Las simulaciones del modelo de longboard con sus cargas se realizaron con el programa Ansys Workbench 17.2. Dentro de este hay diversos subprogramas. Cada uno de estos subprogramas está especializado en un tipo de análisis específico. En este proyecto se utilizará el subprograma que se encarga del análisis estático ya que por problemas de falta de hardware fue imposible el uso del análisis transitorio.

7.4.1. Modelización de los materiales

El estudio se podía abarcar desde diferentes perspectivas. Debido que el material no es uniforme, sino que se fabrica a capas, las propiedades mecánicas no son las mismas en todas sus direcciones. Debido a esto hay tres enfoques diferentes del análisis y la modelización del patinete.

- La primera es un análisis isotrópico convencional, de esta manera la simulación es más sencilla y rápida. Por el contrario, se debe realizar una gran simplificación ya que se está planteando que la pieza tiene las mismas propiedades en todas direcciones.
- La segunda es un análisis por capas como se puede realizar en el subprograma ACP. De esta manera se pueden simular las piezas como si estuvieran fabricadas a capas. El problema es que las capas son envolventes de la pieza como si estuviera fabricada en fibra de carbono o vidrio, mientras que en la impresión 3D las capas son perpendiculares a la pieza.
- La tercera opción y más recomendable, es simular el material como uno ortótropo. De esta manera se pueden simular las diferentes propiedades de cada eje. Tal y como se mostró en apartados anteriores, las propiedades del material se obtendrán para cada uno de los ejes. Esta aproximación no es 100% real, pero es la aproximación más precisa y efectiva para simular piezas fabricadas mediante la tecnología FFD. Cabe añadir que los sistemas de referencia de las piezas tienen que tener la misma orientación que la impresión, sino el resultado nosería verídico. El problema es que al utilizar materiales ortótropos la herramienta del estudio del error cometido por la simulación no está disponible.

7.4.2. Simulaciones a realizar

Debido a que el diseño del patinete tiene es simétrico en su diseño, se puede prescindir de la mitad de ello, de esta manera la carga de trabajo se reduce para el ordenador y el análisis será más rápido. También hay diferentes ensayos que hay que realizar, para conocer las condiciones de contorno se ha buscado información en la norma UNE-EN 13613:2010 referente a skateboards. Aunque esta norma no sea de una aplicación completa al producto, es un buen punto de partida.

En total se van a realizar cuatro simulaciones diferentes.

- El primer análisis es un estudio estático de una persona cuando se sube al longboard presentado en la normativa. Aunque el patinete está pensado para una persona, con sus pertenencias personales, de unos 85 Kg. Por ello, el patinete está en el grupo en el que este ensayo se realiza con un usuario de 80 kilogramos de peso. En cambio, en este análisis se busca ir al lado de la seguridad y se realizará con un peso de 1000N o lo que es lo mismo 101,93 Kg. De esta manera se tiene un coeficiente de seguridad en el análisis, ya que no siempre van a ser las mismas pertenencias y puede haber casos donde el peso del ocupante sea mayor al estipulado.
- El segundo análisis también está sacado de la norma UNE-EN 13613:2010. Esta es la norma que rige los estándares de los skateboards. En este estudio se analiza el paso de una rueda por un bache con una altura de 20mm. En la tabla hay un peso de 20 kg y la cara trasera de la misma está empotrada. Al pasar el patinete por la discontinuidad no debe romperse ni fallar. Aunque este ensayo no es muy realista, ya que nunca pasará en la realidad, es una buena aproximación para saber si el diseño va por buen camino o no.
- El tercer análisis está sacado a partir del anterior. Se estudia cuando una rueda del patinete pasa por encima de un obstáculo con una altura de 20mm. En este caso la parte trasera del patinete no está empotrada y soporta el peso del usuario estipulado en los requisitos. Esta es una situación bastante cotidiana, ya que ninguna carretera o camino es completamente plano y siempre tendrá discontinuidades.
- El cuarto análisis es sobre la flecha que se produce cuando una persona se coloca encima de la tabla. Este estudio es muy importante ya que la longitud de la tabla es bastante grande y tiene que tener la suficiente rigidez como para no romper o rozar el suelo con la caja de las baterías o del VESC.
- El quinto análisis simula el tiempo durante una persona tarda en apoyar sus dos pies en la tabla. Durante un pequeño periodo de tiempo, el usuario envía todo su peso a la tabla mediante un pie. Durante este periodo, el longboard debe ser capaz de aguantar esta fuerza concentrada.

Tanto los detalles de cada simulación y el análisis exhaustivo de ella se realizarán en su apartado correspondiente en los anexos.

7.4.3. Preprocesado

La finalidad de este punto es mostrar el proceso de preprocesado que hay que llevar para realizar los análisis.

Para realizar una simulación en Ansys hay que seguir un orden muy claro e imposible de saltar. Este orden es el siguiente:

- Preprocesado
- Procesado
- Postprocesado

Este capítulo de la memoria se centrará en el primero, mientras que el procesado y postprocesado de los análisis se estudiarán en su apartado correspondiente en los anexos.

Para realizar el preprocesado de manera satisfactoria también hay que seguir un orden ya que, sin el modelo, es imposible mallar o incorporarle sus restricciones internas. Entonces el método a seguir en este proyecto es el siguiente.

- Importación de las piezas
- Incorporación de materiales
- Restricciones internas
- Mallado

7.4.3.1. Importación

El archivo predeterminado para importar piezas a Ansys es el formato ACIS. No importa en que programa de diseño se haya realizado el modelado si este puede ser exportado a este formato.

Una vez exportado las piezas es muy importante utilizar el programa de importación antiguo, el cual se llama DesignModeler. Se decidió elegir este programa de importación en vez del más moderno llamado SpaceClaim debido a las piezas que tienen una geometría muy compleja, el programa Ansys da errores al mallar las piezas. Esta elección no tiene un papel fundamental en la simulación debido a que solo se usa este programa para importar y traducir los datos de las piezas del programa de CAD 3D SolidWorks a Ansys Workbench.

A continuación, se muestra una ilustración del modelo importado en el programa DesignModeler.

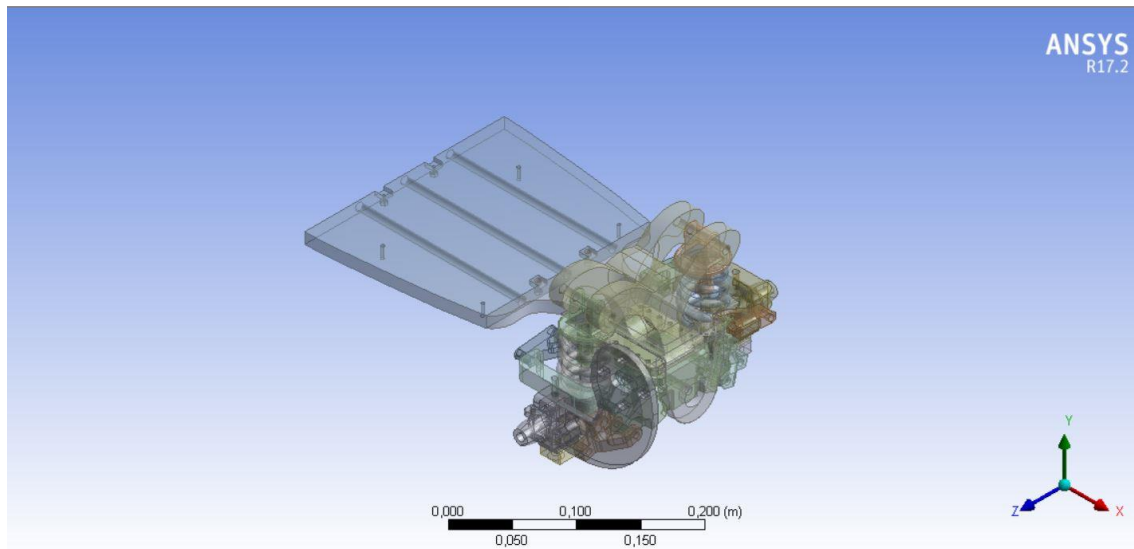


Ilustración 34. Piezas importadas a Ansys

7.4.3.2. Incorporación de materiales

Una vez se tienen las piezas importadas en Ansys, se procede a la creación de un nuevo análisis de fuerzas estáticas.

Automáticamente, las piezas anteriormente importadas se adjuntan a este proyecto y se puede empezar a trabajar con ellas.

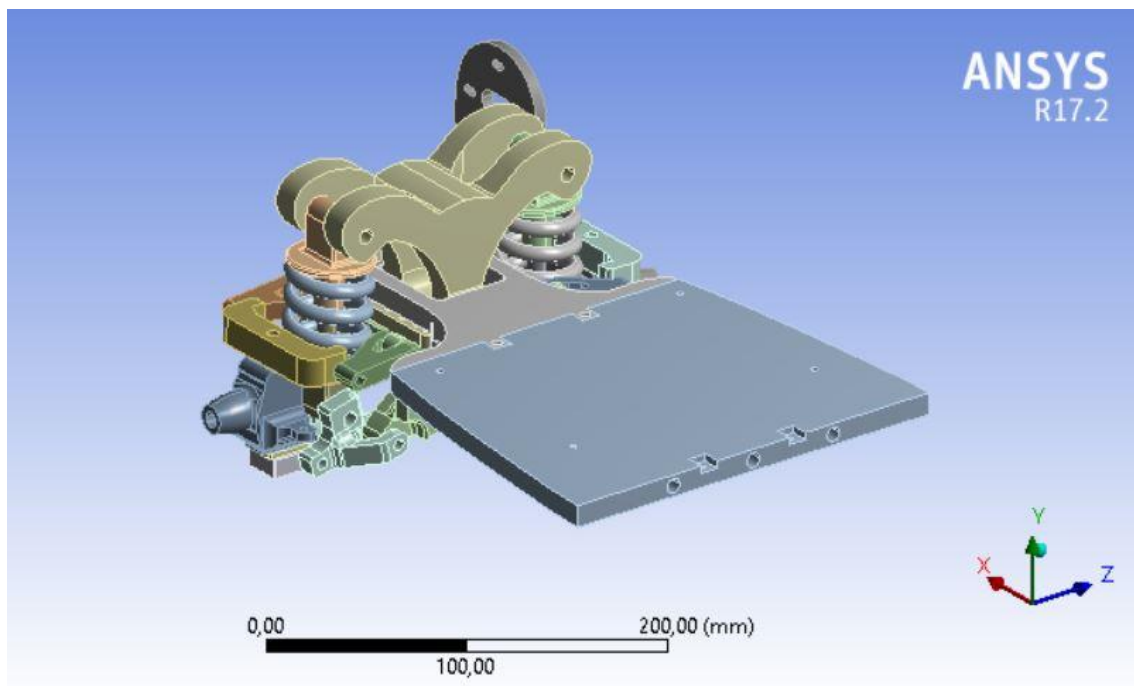


Ilustración 35. Piezas importadas en el Ansys Mechanical

Como se ha definido con anterioridad, las piezas van a ser impresas en 3D y estas piezas van a tener unas propiedades mecánicas u otras dependiendo de cómo sean impresas. Por ello en Ansys hay que tener en cuenta esta orientación y crear

ejes locales en las piezas necesarias y seleccionar el material adecuado para cada pieza.

Como se puede observar en la imagen anterior hay piezas las cuales sus direcciones coinciden con los ejes globales del sistema y otras que no. A continuación se hace un resumen de las piezas que siguen los ejes globales y las que no:

- Piezas en ejes globales
 - Las dos piezas correspondientes a la tabla del longboard
 - Truck del skate
 - Los bujes de las ruedas
 - Las piezas superiores e inferiores del buje
 - Soporte de la suspensión
- Piezas en ejes locales
 - Los brazos inferiores del sistema de suspensión
 - Los brazos superiores del sistema de suspensión

Estos dos últimos conjuntos de piezas necesitan un sistema de referencia local para cada uno de ellos. Esto es debido a que las piezas están inclinadas respecto los ejes globales y para llegar a una aproximación satisfactoria a la realidad se deben crear estos ejes locales. Cabe destacar que lo único que se va a hacer es girar los ejes de referencia para coincidir con cada una de estas piezas. En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de los ejes locales, en concreto es el eje local de uno de los brazos inferiores del sistema de suspensión.

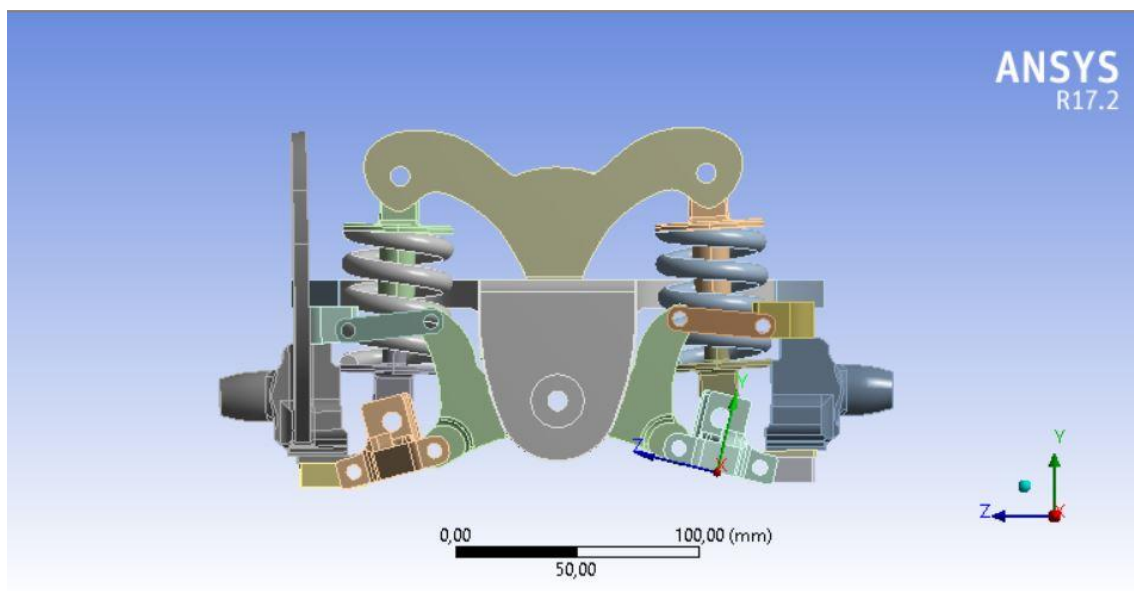


Ilustración 36. Eje de coordenadas local

Una vez creados los ejes locales se procede a la incorporación del material utilizado para cada parte del longboard.

Como se definió con anterioridad se van a utilizar primordialmente 3 materiales:

- ASA para la parte central de la tabla del longboard
- PETG reforzado para las partes más extremas de la tabla del longboard
- Nylon reforzado para el resto de las piezas que están en este sistema.

Las direcciones de impresión para cada pieza van a ser las siguientes:

- YZ
 - Truck
 - Suspensión
 - Brazos inferiores y superiores del sistema de suspensión
 - Bujes de las ruedas
- ZX
 - Las piezas de las tablas
 - Piezas superiores e inferiores de los bujes

Estas son las direcciones en las que van a ser impresas cada pieza y, por ende, el material que hay que aplicar en cada una de ellas.

7.4.3.3. Restricciones internas

Este es el apartado que más tiempo llevo perfeccionar. Aunque quizás no es el más difícil de realizar, si que es el que más detalles y variaciones puede tener, pudiendo llegar a que, por una simple equivocación en la elección de un parámetro, toda la simulación realizada no valga para nada y haya que repetirla con el consecuente gasto de tiempo asociado.

El sistema de aplicación de restricciones de grados de libertad es muy parecido al utilizado por el programa de CAD 3D Solidworks, es por ello por lo que una persona familiarizada con el proceso de creación de ensamblajes con leer como se realiza en una pieza, sería capaz de realizar el resto por si mismo.

Dentro del programa de Ansys hay 2 tipos de restricciones.

- Contactos
- Uniones

La primera, como su nombre indica, interpreta los contactores que hay entre las caras de dos piezas. Hay diferentes tipos de contacto con características diferentes.

- Bonded: Este tipo de contacto une permanentemente dos piezas, restringiendo cualquier movimiento de una respecto a la otra
- Frictionless: Este contacto genera un contacto sin fricción, es decir, permite todos los movimientos de una pieza respecto a la otra simulando un coeficiente de fricción 0.
- Frictioned: este contacto es exactamente igual que el anterior, pero con coeficiente de fricción aplicado.
- No separation: Este contacto tiene las mismas características que el frictionless, salvo que este no permite que las dos piezas se separen, mientras que el frictionless sí.
- Rough: Este contacto se realiza cuando dos piezas inicialmente están separadas y se acaban tocando. Aplicando este contacto, una vez que la una pieza toca la otra, se produce un contacto bonded entre ellos. Es decir, se restringen todos los grados de libertad.

En la siguiente imagen se muestra una tabla a modo de resumen de los contactos.

Contact Names and Behavior		
Name	Gap Open/Close ?	Sliding Allowed ?
Bonded	No	No
Rough	Yes	No, infinite μ
No Separation	No	Yes, $\mu = 0$
Frictionless	Yes	Yes, $\mu = 0$
Frictional	Yes	Yes, if $F_{\text{sliding}} > F_{\text{friction}}$

Tabla 1. Tipos de contactos

Las uniones por el contrario se pueden aplicar entre dos piezas o entre una pieza y el suelo. Las uniones disponibles son las siguientes:

- Unión fija: Como su nombre indica fija dos piezas restringiendo sus grados de libertad.
- Unión de revolución: Este es el tipo de unión más utilizado en este proyecto ya que simula la rotación de dos piezas, una respecto a la otra.
- Unión cilíndrica y unión traslacional: Estas uniones son prácticamente idénticas, ambas permiten el desplazamiento de una pieza sobre otra. Mientras que la segunda restringe todo el grado de libertad pertenecientes a giros, la primera permite la rotación siendo el eje de giro el eje de desplazamiento.
- Slot Joint: simulan el paso de una pieza por un carril diseñado para ella.
- Fijación universal: La cual es utilizada para simular juntas cardan
- Rótulas

- Unión plana: La cual sigue los mismos principios que el contacto de no separación.
- Point on curve Joint: La cual sirve para hacer que una pieza siga una trayectoria determinada.

Estas tres últimas simulan fallos o imperfecciones en el montaje. Por ejemplo, si en el montaje se precisa de un tornillo de M8 para unir dos piezas y una de ellas se fabrica para utilizar un M6 mientras que la otra utiliza un M8, la segunda tendrá una mayor libertad de movimiento en todos sus ejes el cual puede ser simulado mediante las siguientes uniones.

- In-plane radial gap
- Radial gap
- Spherical gap

Cabe destacar que en el tema de las uniones se pueden simular dos tipos de comportamientos:

- Rígidos: Las uniones rígidas simula una articulación de sólido rígido y sus piezas deben haber sido especificadas con anterioridad su comportamiento rígido
- Flexibles: Las uniones flexibles, aparte de estudiar el traspaso de las fuerzas de una pieza a otra, también estudia las tensiones generadas en esta y las deformaciones aplicadas.

Durante este proyecto todas las uniones y contactos serán aplicadas con comportamiento flexible.

A continuación, se muestran los tipos de uniones y contactos utilizados en esta simulación:

- Rotación: Este fue el tipo de unión más utilizado en este proyecto, este es utilizado en todas las uniones en las que se precisa un tornillo con una tuerca. Para realizar este tipo de unión se deben seleccionar las caras internas de las piezas, es decir, las que estarían en contacto con el tornillo. En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de aplicación de esta unión.

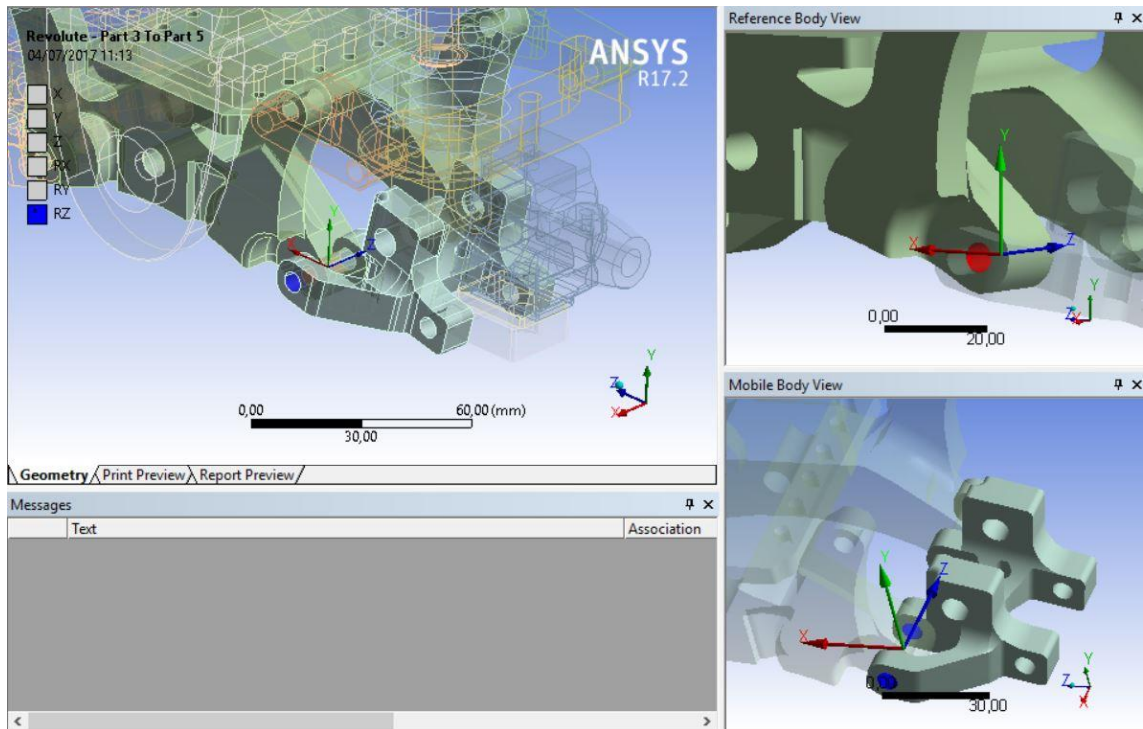


Ilustración 37. Unión rotacional

- Desplazamiento: Este tipo de unión se utiliza para restringir el movimiento del amortiguador. De esta manera el vástago interior se desplazará por el parte interno del exterior. En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de aplicación de esta unión.

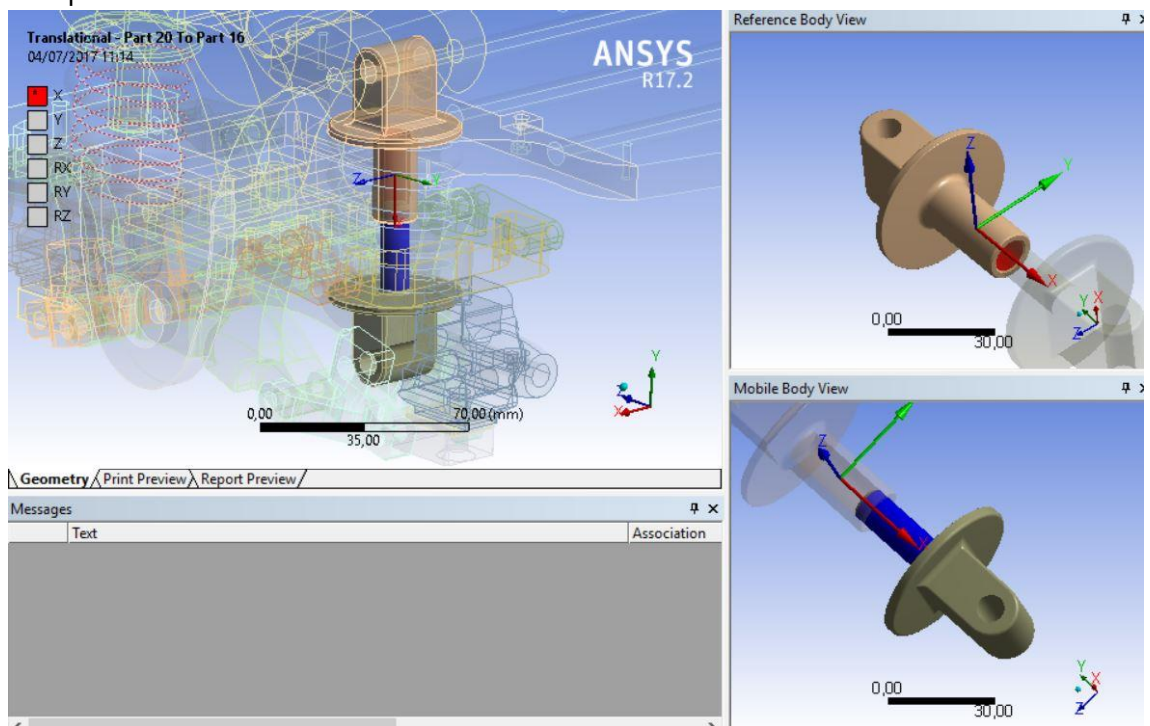


Ilustración 38. Unión lineal

- Fijas: en cuanto a las uniones fijas se han utilizado para fijar las partes inferiores y superiores de los muelles a las piezas exteriores del amortiguador. También este tipo de unión fue utilizado para fijar las caras de las dos tablas. En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de aplicación de esta unión.

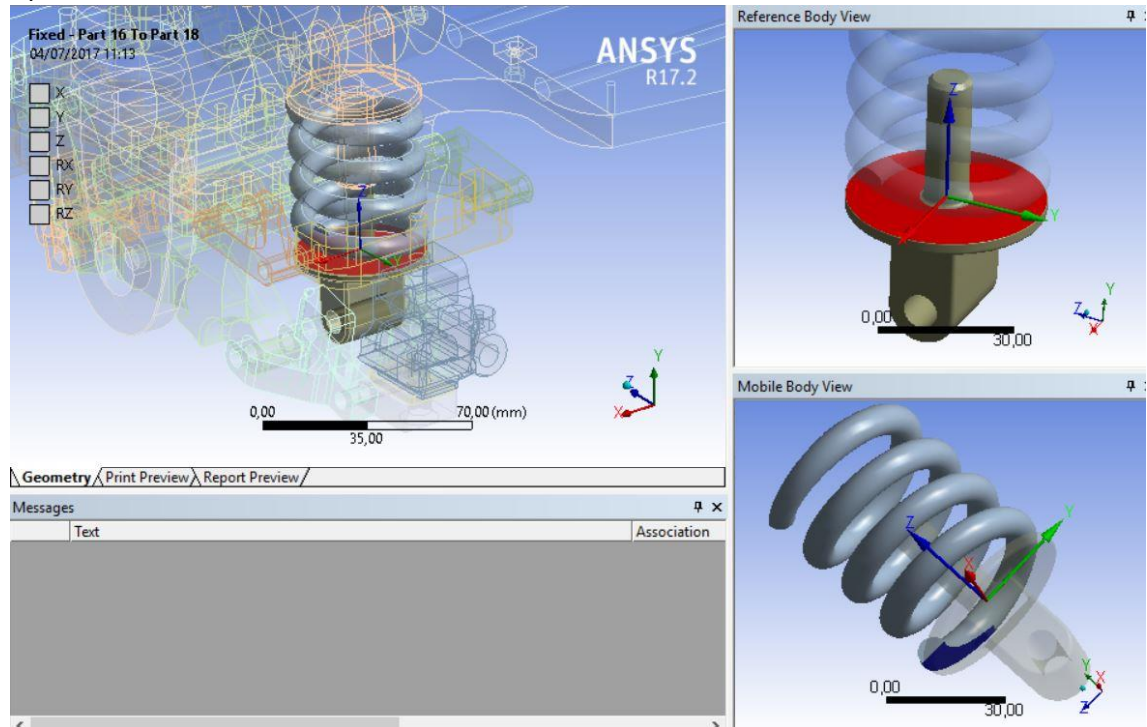


Ilustración 39.Unión fija

Por último, cada vez que se genera una unión hay que fijarse detenidamente si los grados de libertad que tiene la unión coinciden con los buscados. Ya que si no lo cumplen habrá que modificarlos. Esto es un fallo que prácticamente no ocurre, debido a que Ansys lo realiza de forma automática, pero siempre hay alguna vez que falla y pareciendo que está todo bien, la solución da unos resultados incoherentes y encontrar este fallo puede llegar a ser una tarea muy tediosa.

7.4.3.4. Mallado

El último punto a tratar en el tema del preprocesado es la creación de la malla. Antiguamente en Ansys el usuario era el que tenía que elegir el elemento finito a utilizar, pero actualmente en el software Workbench Ansys realiza esta tarea automáticamente, no dejando ni la posibilidad de cambiarlo al usuario. Este tipo de elemento finito es el llamado Estándar Mechanical el cual es un elemento finito tetraédrico.

Por otro lado, el cuanto al tamaño del elemento finito se ha definido que como máximo tenga un valor de 2mm y siendo Ansys quien estipule en que zonas se debe aplicar una mayor cantidad de elementos que en otras. Se eligió este tamaño ya que ofrece una carga nodal suficiente, sin llegar a sobredimensionar la

simulación y que cumpliera los requisitos mínimos de geometría de una simulación por elementos finitos.

7.5. Impresión

La impresión en 3D del patinete se realizará en una impresora Prusa P3steel modificada, siendo una versión realizada en acero. Por otro lado, para imprimir de forma satisfactoria los nuevos materiales se necesitan una serie de componentes y ajustes especiales que se describirán en su apartado correspondiente.

7.5.1. Componentes necesarios y modificación de la impresora

Para ser capaz de imprimir de forma satisfactoria esta serie de materiales se necesitan unos componentes especiales. Estos componentes son los siguientes.

- Boquilla de acero endurecido: Debido a la alta abrasión que genera la extrusión de la fibra de carbono a las boquillas. Debido a que las convencionales son de latón, a las pocas piezas el orificio de salida va aumentando de manera irregular el tamaño con su consecuente fallo de impresión. En la siguiente ilustración se muestra cómo se produce el desgaste después de un uso intensivo de materiales abrasivos con un cabezal estándar de latón y uno de acero endurecido respectivamente.

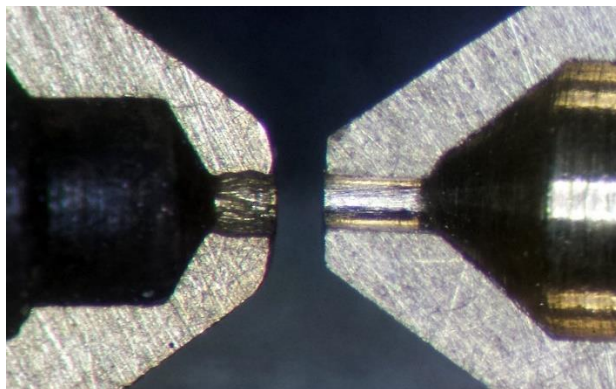


Ilustración 40. Desgaste de una boquilla por abrasión

- Boquilla de gran diámetro ($>0,6$ mm): Este componente no es obligatorio, pero utilizando este tipo de boquillas las capas pueden ser de hasta 0,7 mm de grosor con uno de 0,8mm y así reducir de manera considerable los tiempos de impresión. En contra, las tolerancias de las piezas aumentan y no se pueden realizar piezas con detalles pequeños, siendo 0,96 mm los detalles más pequeños que puede realizar de forma satisfactoria. En la siguiente imagen se muestra la variedad de puntas disponibles para el E3D-Volcano (0.6, 0.8, 1, 1.2 mm), a falta del de 0.4 mm de diámetro, el cual es uno de los heater blocks más potentes del mercado.



Ilustración 41. Nozzles para el volcano

- Cubierta de la impresora: Para imprimir correctamente se necesita aislar la impresora de las corrientes de aire exteriores ya que sino las piezas no se imprimirían de forma satisfactoria y tendrían un mejor acabado y sus prestaciones mecánicas disminuyen.
- Termistor capaz de soportar altas temperaturas (>260 C): Los termistores se utilizan para la medición precisa y a tiempo real de la base y el heat-block de la impresora. Los más comunes tienen un límite de seguridad de 250-260C. Para imprimir filamentos de nylon y variantes, tiene que tener una temperatura mayor a 265 grados, para ello se deben cambiar a otros que tengan su límite en 300, el cual es la temperatura en la que un termistor deja de ser efectivo y se necesitan buscar otras soluciones.

7.5.2. Impresora

La impresora con la que se va a imprimir tiene las siguientes características y configuración.

7.5.2.1. Características técnicas

Los componentes de una impresora 3D son muy importantes para realizar el proceso de impresión de forma satisfactoria y una buena calidad final. En el caso de la impresora que se va a usar en este trabajo es la siguiente.

7.5.2.2. Firmware

El firmware de la impresora es la versión del Marlin Release Candidate 7 versión 1.1 cuyo software fue modificado para que sea funcional con el resto de componentes de la impresora. Este firmware es el principal en la comunidad RepRap para las impresoras 3D.

Los datos a modificar dentro de este firmware para placas Arduino son los siguientes.

- Definición del tamaño de la base y la altura disponible para la impresora, es decir, el volumen de impresión máximo.
- El número de pasos del motor. Este valor expone el número de movimientos que tiene que realizar el motor para que genere las piezas de forma precisa, es decir, si se desea imprimir una pieza de 20 mm, la pieza impresa mida 20 mm. Este valor del número de pasos debe calibrarse para todos los motores. En el caso de la impresora del proyecto son los dos motores del eje Z, el del eje Y, eje X y la extrusora.
- El valor de los parámetros del controlador PID de las temperaturas del heat-block y la cama caliente. Estos valores se consiguen de forma automática una vez que esta todo montado. La propia impresora tiene una opción de auto calibrado el PID e indica sus valores óptimos. Cabe destacar que también se puede hacer de manera manual, pero es un proceso bastante tedioso.
- La temperatura máxima soportada por los componentes del heatblock y el termistor. Esta temperatura debe estipularse debido a que si se supera puede ocasionar graves daños a la mecánica y la electrónica que hay en ella.

7.5.2.3. Extrusora

El extrusor de la impresora 3D es un Titan de la marca E3D, la cual es una start-up inglesa cuyos productos son de los mejores dentro de la comunidad 3D.

Esta extrusora directa tiene la posibilidad de imprimir cualquier material, desde un TPE a una poliamida reforzada con fibra de carbono.

Tiene una relación 3:1 entre el piñón del motor de extrusión y la polea de extrusión, haciendo así que tenga una gran fuerza de extrusión pudiendo imprimir de esta manera, aunque hubiera algún pequeño nudo o imperfección en el filamento.

Esta extrusora es solo compatible con la familia de heatsinks de E3D, por lo que si se desea utilizar para otro diferente debería ser usado en estilo bowden.



Ilustración 42. Extrusor titan

7.5.2.4. Heat-block

El heat block es la parte que se encarga de calentar el plástico hasta su punto de fusión. En este caso se utilizan dos diferentes dependiendo de la ocasión.

- E3D V6: Este es el extrusor principal de la empresa E3D, es el más versátil, pudiendo imprimir con cabezales de 0,15 mm hasta 0,6 mm. Con el V6 se pueden conseguir muy buenos acabados y tiene la capacidad de imprimir cualquier material que haya actualmente en el mercado.



Ilustración 43. E3D V6

- E3D volcano: Este extrusor se puede considerar como el siguiente escalón al v6. Tiene una altura de 8,5 mm mayor. Debido a este aumento de tamaño se calienta más plástico y durante mayor tiempo, por ello tiene un

rango de cabezales que empiezan en 0,4 mm hasta 1,2mm. Este cabezal está pensado para piezas muy grandes y que requieran de unos acabados medios. La principal ventaja de este es que reduce los tiempos de impresión de manera considerable, pero tiene la contra de que es bastante más complicado e configurar para que pueda llegar a dejar unos acabados que se parezcan a los creados con el v6.

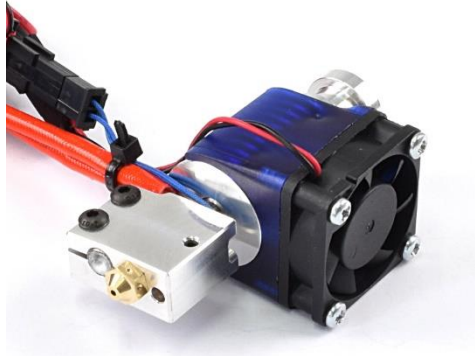


Ilustración 44. E3D Volcano

7.5.2.5. Base

La base de la impresora o también llamada cama tiene la característica de que se calienta hasta temperaturas de 120 grados centígrados.

En el caso de la impresora del proyecto es una MK2a fabricada en aluminio con unas dimensiones de 300x200 mm. Esta pieza es fundamental que este nivelada y funcionando de la manera correcta debido a que si la pieza se mueve o se despega ocasiona que la pieza que se imprima no valga y haya que volver a imprimir otra.

Estas camas calientes se suelen cubrir con una plancha de vidrio para imprimir en él. De esta manera se evita el desgaste de la misma y al ser aluminio y tener unas grandes dimensiones evitar en gran medida la curvatura que se genera en ella.



Ilustración 45. Cama caliente

7.5.2.5. Electrónica

La electrónica de una impresora 3D está bastante estandarizada, siendo una de las más comunes la que presenta la de este proyecto.

- Microcontrolador: El microcontrolador es un Arduino mega 2560 a 16 MHz. Esta placa tiene la característica de que es muy económica y tiene una gran cantidad de puertos de entrada y salida de datos. De esta manera la hace una elección muy recomendable. El problema es que, con el avance de las impresoras, las funciones cada vez son más complejas y para alguna de ellas como el tener pantallas táctiles se queda bastante corta de potencia.
- Placa controladora: En este caso se utiliza una RAMPS 1.4 de la empresa gallega staticboards. La principal diferencia de esta placa con el resto de RAMPS es la calidad de sus componentes y de su durabilidad, haciéndola una elección recomendable, aunque su precio sea bastante superior al resto. La placa RAMPS se encarga de entregar la potencia al heat block y la cama caliente además de tener en ella los controladores de los motores. Los Mosfet de la RAMPS deben ser de alta calidad debido a que tienen que entregar cerca de 300 W a los componentes que los requieren, como por ejemplo la cama caliente.
- Controladores del motor: Los controladores del motor son los que indican el número de pasos y la velocidad a los motores. Cuanta mayor sea la precisión de estos, mayor capacidad de impresión tendrá la impresora. En

este proyecto se utilizan los Pololu DVR8825, siendo estos los más utilizados por las impresoras del mundo RepRap. Esos controladores tienen una capacidad de resolución de 1/32 de paso, siendo uno de los más precisos y rápidos del mercado. Además, tienen la capacidad de trabajar con voltajes desde 2,5 voltios hasta 5,5 voltios, por los que los convierte en unas placas muy versátiles.

- Motores: Los motores más utilizados son los motores paso a paso, los cuales se caracterizan por tener una muy buena precisión en sus movimientos. La elección más común son los motores NEMA 17, los cuales son prácticamente los estándares para impresión 3D. Centrados en la impresora del proyecto se utilizan para los ejes motores NEMA 17 de 1,8 grados de paso, torque de 4 kg/cm² y una capacidad de uso de 1,7 Ah. En el caso de la extrusora se utiliza la siguiente generación de motores NEMA 17 con un paso de 0,8 grados. La principal desventaja de estos motores es su bajo rendimiento generando así grandes cantidades de calor.
- Fuente de alimentación: la fuente de alimentación es la que se encarga de entregar toda la potencia eléctrica demandada. En este caso la utilizada no tiene ningún aspecto especial, siendo una fuente de alimentación genérica a 12 voltios y una capacidad de entrega de corriente máxima de 30 amperios.

7.5.2.6. Parte mecánica

Las piezas mecánicas son la parte más estandarizada del conjunto utilizando:

- Poleas y correas: Las poleas y correas utilizadas para la impresora 3D son las GT2 las cuales tienen un paso de 2mm. Estas correas son las más utilizadas debido a su gran capacidad de intercambio de potencia, bajo coste, bajo mantenimiento, alta durabilidad y bajo ruido
- Marco: El marco de la impresora 3D está fabricado en acero ST37 de 3mm de espesor, todo ello lacado en color negro para evitar oxidación y corrosión.
- Husillos: Los husillos son utilizados para mover el eje z. Los husillos presentan mejor durabilidad y menor mantenimiento que las varillas utilizadas anteriormente. Estos husillos tienen una rosca trapezoidal de 8mm de diámetro, ofreciendo así una gran resistencia al desgaste y alta precisión dimensional
- Guías: Las guías por donde deslizan los rodamientos lineales de la impresora están fabricadas en acero F114 de 8mm de diámetro con una tolerancia F7.

8. Orden de prioridad entre los documentos básicos

El orden de prioridad de los documentos frente a posibles discrepancias o incompatibilidades que puedan ocurrir en los documentos básicos del Proyecto será el orden de prioridad de los documentos contractuales. Este orden es el siguiente:

- a. Memoria
- b. Pliego de Condiciones
- c. Presupuesto
- d. Planos

Anexos

Longboard eléctrico fabricado mediante impresión en 3D

Firma el presente documento:
Marco Antonio Benito Martin
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Logroño, 05 de julio de 2017

Anexos

Índice

1. Estudio de materiales.....	6
1.1. Introducción	6
1.2. ASA.....	6
1.2.1. Propiedades mecánicas.....	6
1.2.2. Modelización	9
1.3. PETG + CF.....	11
1.3.1. Propiedades mecánicas.....	11
1.3.2. Modelización	13
1.4. Nylon + CF.....	15
1.4.1. Propiedades mecánicas.....	15
1.4.2. Modelización	17
2. Cálculos	20
2.1. Introducción	20
2.2. Baterías.....	20
2.3. Poleas y correa	20
2.4. Motor	21
3. Simulación	22
3.1. Hipótesis de carga 1	22
3.1.1. Introducción	22
3.1.2. Modelización	22
3.1.3. Resultados	24
3.2. Hipótesis de carga 2	32
3.2.1. Introducción	32
3.2.2. Modelización	32

3.2.3. Resultados	33
3.3. Hipótesis de carga 3	41
3.3.1. Introducción	41
3.3.2. Modelización	41
3.3.3. Resultados	42
3.4. Estudio de la rigidez de la tabla 1	51
3.4.1. Introducción	51
3.4.2. Modelización	51
3.4.3. Resultados	52
3.5. Estudio de la rigidez de la tabla 2	54
3.5.1. Introducción	54
3.5.2. Modelización	54
3.5.3. Resultados	55

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Gráfica resultante del ensayo de tracción	7
Ilustración 2. Representación de los ejes de una impresora	9
Ilustración 3. Datos insertados en Ansys.....	9
Ilustración 4. Propiedades mecánicas del ASA XY	10
Ilustración 5. Propiedades mecánicas del ASA XZ	11
Ilustración 6. Propiedades mecánicas del ASA YZ	11
Ilustración 7. Gráfica resultante del ensayo de tracción	12
Ilustración 8. Datos insertados en Ansys.....	13
Ilustración 9. Propiedades mecánicas del Carbonfil XY.....	14
Ilustración 10. Propiedades mecánicas del Carbonfil XZ	14
Ilustración 11. Propiedades mecánicas del Carbonfil YZ	15
Ilustración 12. Gráfica resultante del ensayo de tracción.....	16
Ilustración 13. Datos insertados en Ansys.....	17
Ilustración 14. Propiedades mecánicas del Carbonium XY	18
Ilustración 15. Propiedades mecánicas del Carbonium XZ	18
Ilustración 16. Propiedades mecánicas del Carbonium YZ	19
Ilustración 17. Condiciones de contorno	23
Ilustración 18. Condiciones de contorno del buje	23

Ilustración 19. Condiciones de contorno de la tabla.....	24
Ilustración 20. Tensiones de Von Mises en el truck.....	25
Ilustración 21. Tensiones de Von Mises en la tabla	25
Ilustración 22. Tensiones de Von Mises en los bujes	26
Ilustración 23. Tensiones de Von Mises en los brazos inferiores.....	27
Ilustración 24. Tensiones de Von Mises en los brazos superiores.....	28
Ilustración 25. Tensiones de Von Mises en las piezas inferiores del buje.....	29
Ilustración 26. Tensiones de Von Mises en las piezas superiores del buje.....	30
Ilustración 27. Tensiones de Von Mises en los soportes de la suspensión.....	31
Ilustración 28. Condiciones de contorno	32
Ilustración 29. . Tensiones de Von Mises en el truck	33
Ilustración 30. Tensiones de Von Mises en la tabla	34
Ilustración 31. Tensiones de Von Mises en los bujes	35
Ilustración 32. Tensiones de Von Mises en los brazos inferiores del sistema de suspensión.....	36
Ilustración 33. Tensiones de Von Mises en los brazos superiores del sistema de suspensión.....	37
Ilustración 34. Tensiones de Von Mises en las piezas inferiores del buje.....	38
Ilustración 35. Tensiones de Von Mises en las piezas superiores del buje.....	39
Ilustración 36. Tensiones de Von Mises en los soportes de los amortiguadores.....	40
Ilustración 37. Condiciones de contorno	42
Ilustración 38. Tensiones de Von Mises en el truck.....	43
Ilustración 39. Tensiones de Von Mises en la tabla	44
Ilustración 40. Tensiones de Von Mises en los bujes	45
Ilustración 41. Tensiones de Von Mises en las barras inferiores del sistema de suspensión.....	46
Ilustración 42. Tensiones de Von Mises en las barras superiores del sistema de suspensión.....	47
Ilustración 43. Tensiones de Von Mises en las piezas inferiores del buje.....	48
Ilustración 44. Tensiones de Von Mises en las piezas superiores del buje.....	49
Ilustración 45. Tensiones de Von Mises en el soporte de los amortiguadores.....	50
Ilustración 46. Condiciones de contorno	51
Ilustración 47. Tensiones de Von Mises en la tabla	52
Ilustración 48. Deformaciones en la tabla.....	53
Ilustración 49. Condiciones de contorno	54
Ilustración 50. Tensiones de Von Mises en la tabla.....	55
Ilustración 51. Deformaciones de Von Mises en la tabla	56

Índice de tablas

Tabla 1. Datos cedidos por el fabricante	7
Tabla 2. Datos obtenidos a partir del ensayo de tracción	7
Tabla 3. Datos cedidos por el fabricante	12
Tabla 4. Datos obtenidos a partir del ensayo de tracción	12
Tabla 5. Datos cedidos por el fabricante	15
Tabla 6. Datos obtenidos a partir del ensayo de tracción	16

1. Estudio de materiales

1.1. Introducción

Para poder obtener las características de los materiales se procedieron a realizar el proceso expuesto en el apartado de materiales de la memoria.

Para ello se realizaron los ensayos siguiendo la norma ISO 521 para así conseguir las propiedades mecánicas de los plásticos utilizados en este proyecto. Como se indica en el apartado correspondiente a los materiales los materiales a estudiar son los siguientes:

- ASA
- PETG + CF
- Nylon + CF

Para la realización de estos ensayos se utilizó un tipo de probeta normalizada la cual tiene las siguientes características principales:

- Longitud de 150 milímetros entre extremos.
- Anchura de 10 milímetros en su parte más estrecha.
- Un espesor de 4 milímetros.

Estas probetas se ensayaron en la máquina de ensayos de tracción del laboratorio de materiales. A continuación, se van a mostrar los resultados obtenidos en los ensayos y su comparación con los datos que los fabricantes ofrecen en sus tablas de datos.

1.2. ASA

Es un plástico cuyo nombre completo es Acrilonitrilo estireno acrilato. Este plástico es una alternativa al comúnmente utilizado ABS mejorando su resistencia a los agentes externos del medioambiente. Este material puede ser utilizado en diferentes procesos como la inyección, termoconformado, extrusión, impresión entre otros.

1.2.1. Propiedades mecánicas

En este apartado se van a mostrar las propiedades del material estudiado en el presente proyecto.

1.2.1.1. Fabricante

Las propiedades obtenidas desde la base de datos creada por el fabricante son las detalladas en la siguiente tabla.

	Fabricante	
Densidad	1,11	Kg/dm ³
Resistencia al impacto	18	Kj/m ²
Tensión última	47,5	Mpa
Modulo de Young	2020	Mpa
Elongación a la rotura	15%	
Poisson	0,4	

Tabla 1. Datos cedidos por el fabricante

El principal problema de estos valores es que el fabricante no especifica las condiciones de los ensayos. Por ejemplo, muchos fabricantes realizan estos ensayos con probetas creadas mediante inyección. De esta manera las propiedades recibidas no son válidas para el estudio que este proyecto pretende realizar.

1.2.1.2. Ensayos

Las propiedades obtenidas a partir del ensayo son las detalladas en la siguiente tabla.

	Ensayos	
Densidad	x	Kg/dm ³
Resistencia al impacto	x	Kj/m ²
Tensión última	52,6	Mpa
Modulo de Young	1685	Mpa
Módulo de cortadura	758,25	Mpa
Elongación a la rotura	6%	
Poisson	0,42	

Tabla 2. Datos obtenidos a partir del ensayo de tracción

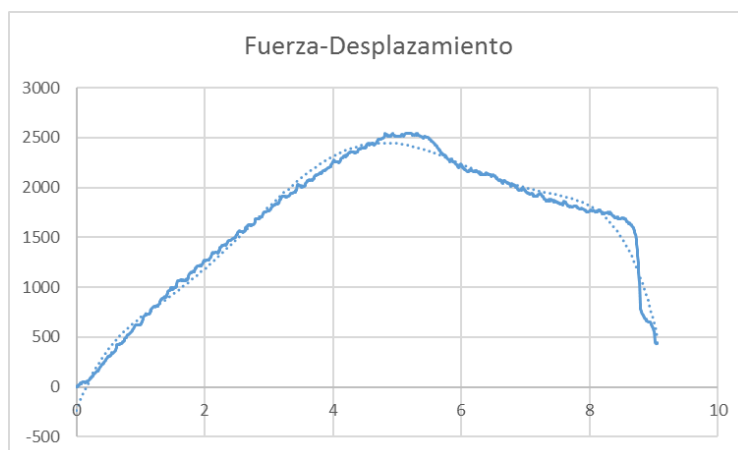


Ilustración 1. Gráfica resultante del ensayo de tracción

Una vez estudiado los datos conseguidos a partir del ensayo de tracción se puede llegar a realizar el gráfico de Fuerza-Desplazamiento o dividiendo la fuerza entre el área de la probeta Tensión-Deformación.

Como se puede observar la capacidad tensional de la pieza es ligeramente superior a la descrita en la base de datos, de 47,5 a 52,6 MPa. Por otro lado, al ser la probeta impresa se pierde parte de su rigidez la cual es descrita mediante su módulo de Young. Otro dato que salta su gran diferencia es su capacidad de elongación que según los datos obtenidos en los ensayos se reduce en más de un 50%. Cabe destacar que el valor del módulo de cortadura se realiza mediante una aproximación. A partir de los ensayos estudiados en otros proyectos e universidades como es el caso del proyecto “Experimental Characterization of the Mechanical Properties of 3D-Printed ABS and Polycarbonate Parts” realizado en la universidad de Florida y la de California en Berkeley, se obtuvieron unos valores del módulo de cortadura comprendidos entre un 40% y 50% del valor del módulo de Young. Por consiguiente, en este proyecto se han tomado unas aproximaciones de este valor en un 45%.

Por otro lado, las piezas fabricadas mediante impresión 3D no tienen las mismas propiedades en todas sus direcciones como se describió en su apartado correspondiente de la memoria. También se especificó la imposibilidad de la capacidad de impresión y ensayo de todas las probetas y en todas direcciones. Por ello se decidió a realizar aproximaciones a partir de los datos resultantes de otros proyectos que tuvieran la temática del estudio de propiedades mecánicas de piezas impresas en 3D. En estudios como el anteriormente descrito y el estudio “Effect of Build Orientation on FDM Parts: A Case Study for Validation of Deformation Behaviour by FEA” desarrollado en la universidad de Lancaster, se determinó que las propiedades en las dos direcciones más favorables son idénticas, mientras que la dirección desfavorable sus propiedades mecánicas son reducidas entorno el 20%. A la vista de estos resultados se determinó que las propiedades de la dirección desfavorable serían las mismas que las del ensayo, pero reducidas en un 20%.

Cabe destacar que la dirección de la fibra desfavorable es la coincidente con el eje Z de la máquina de impresión, mientras que las direcciones favorables se corresponden con los ejes X e Y. En la siguiente ilustración se muestran cuáles son esos ejes en una impresora genérica.

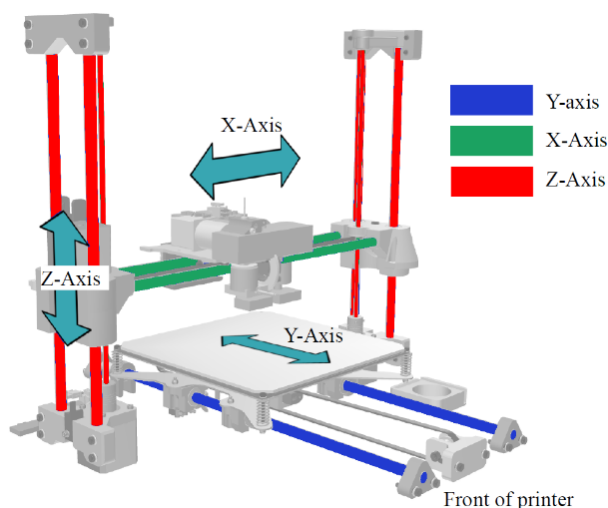


Ilustración 2. Representación de los ejes de una impresora

Ya teniendo todos los valores se puede proceder a la modelización del material en el programa de análisis finitos ANSYS.

1.2.2. Modelización

Una vez conseguidos los valores necesarios para realizar una simulación con el material ortótropo, se añaden esos valores a la base de datos interna de Ansys.

Para añadirlos hubo que hacerlo manualmente creando un nuevo material para simulaciones ortótropas. Debido a que se puede imprimir la pieza en cualquiera de las tres direcciones se debe crear un material para cada orientación. Por ello se creó uno para la dirección XY, XZ y YZ. Cabe destacar que esta nomenclatura se compone del nombre del material y las direcciones tensionales favorables. En la siguiente captura se pueden observar las tres variaciones del material creado.

Outline of Schematic B2: Engineering Data			
	A	B	C
1	Contents of Engineering Data		
2	Material		
3	ASA XY		
4	ASA XZ		
5	ASA YZ		

Ilustración 3. Datos insertados en Ansys

Una vez están creados estos materiales hay que rellenar las tablas de datos que Ansys necesita para correr la simulación. Los datos necesarios para realizar una simulación con materiales ortótropos son los siguientes.

- Módulo de Young en las tres direcciones
 - X
 - Y
 - Z
- Módulo de Poisson en todas las caras
 - XY
 - XZ
 - YZ
- Módulo de cortadura en las tres caras
 - XY
 - XZ
 - YZ

Para la selección de la cara del módulo de cortadura más desfavorable hay que tener en cuenta que la dirección menos favorable es el eje de giro que presentaría la pieza aplicándole una fuerza tangencial a esta en la cara del módulo de cortadura más débil. Es decir, imprimiendo una pieza en el plano XY, el eje Z sería el más desfavorable. Entonces, el módulo de cortadura más desfavorable sería el mismo plano que le de impresión, el XY.

En las siguientes tablas se muestran los datos del material ASA en sus tres direcciones en la simulación realizada en el programa Ansys.

Properties of Outline Row 3: ASA XY				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	1,11	g cm ⁻³	
3	Orthotropic Elasticity			
4	Young's Modulus X direction	1,6E+09	Pa	
5	Young's Modulus Y direction	1,6E+09	Pa	
6	Young's Modulus Z direction	1,28E+09	Pa	
7	Poisson's Ratio XY	0,42		
8	Poisson's Ratio YZ	0,42		
9	Poisson's Ratio XZ	0,42		
10	Shear Modulus XY	6E+08	Pa	
11	Shear Modulus YZ	7E+08	Pa	
12	Shear Modulus XZ	7E+08	Pa	

Ilustración 4. Propiedades mecánicas del ASA XY

Properties of Outline Row 4: ASA XZ				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	1,11	g cm ⁻³	
3	Orthotropic Elasticity			
4	Young's Modulus X direction	1,6E+09	Pa	
5	Young's Modulus Y direction	1,28E+09	Pa	
6	Young's Modulus Z direction	1,6E+09	Pa	
7	Poisson's Ratio XY	0,42		
8	Poisson's Ratio YZ	0,42		
9	Poisson's Ratio XZ	0,42		
10	Shear Modulus XY	7E+08	Pa	
11	Shear Modulus YZ	7E+08	Pa	
12	Shear Modulus XZ	6E+08	Pa	

Ilustración 5. Propiedades mecánicas del ASA XZ

Properties of Outline Row 5: ASA YZ				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	1,11	kg m ⁻³	
3	Orthotropic Elasticity			
4	Young's Modulus X direction	1,28E+09	Pa	
5	Young's Modulus Y direction	1,6E+09	Pa	
6	Young's Modulus Z direction	1,6E+09	Pa	
7	Poisson's Ratio XY	0,42		
8	Poisson's Ratio YZ	0,42		
9	Poisson's Ratio XZ	0,42		
10	Shear Modulus XY	7E+08	Pa	
11	Shear Modulus YZ	6E+08	Pa	
12	Shear Modulus XZ	7E+08	Pa	

Ilustración 6. Propiedades mecánicas del ASA YZ

1.3. PETG + CF

1.3.1. Propiedades mecánicas

En este apartado se van a mostrar las propiedades del material estudiado en el presente proyecto.

1.3.1.1. Fabricante

Como se definió en el apartado anterior el principal problema de estos valores es que el fabricante no especifica las condiciones de los ensayos. Por ejemplo, muchos fabricantes realizan estos ensayos con probetas creadas mediante inyección. De esta manera las propiedades recibidas no son válidas para el estudio que este proyecto pretende realizar.

Las propiedades obtenidas desde la base de datos creada por el fabricante son las detalladas en la siguiente tabla

	Fabricante	
Densidad	1,19	Kg/dm ³
Resistencia al impacto	7,9	Kj/m ²
Tensión última	52,5	Mpa
Modulo de Young	3800	Mpa
Elongación a la rotura	8%	
Poisson	0,39	

Tabla 3. Datos cedidos por el fabricante

1.3.1.2. Ensayos

Las propiedades obtenidas a partir del ensayo son las detalladas en la siguiente tabla.

	Ensayos	
Densidad	x	Kg/dm ³
Resistencia al impacto	x	Kj/m ²
Tensión última	74,4	Mpa
Modulo de Young	4500	Mpa
Módulo de cortadura	2025	Mpa
Elongación a la rotura	2%	
Poisson	0,41	

Tabla 4. Datos obtenidos a partir del ensayo de tracción

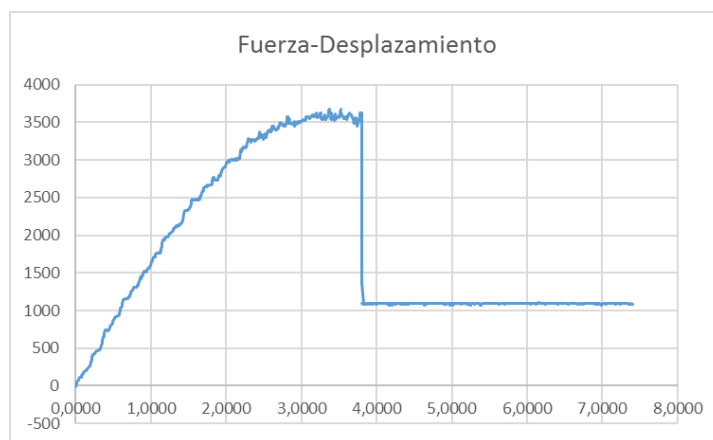


Ilustración 7. Gráfica resultante del ensayo de tracción

Una vez estudiado los datos conseguidos a partir del ensayo de tracción se puede llegar a realizar el gráfico de Fuerza-Desplazamiento o dividiendo la fuerza entre el área de la probeta Tensión-Deformación.

Como se puede observar la capacidad tensional de la pieza es otra vez ligeramente superior a la descrita en la base de datos, aunque esta vez con una mayor diferencia al ASA. Esta vez pasa de 52.5 a 74.4 MPa. Por otro lado, en este caso la resolución del ensayo brinda un módulo de Young superior al de la base de datos, pasando de 3800 MPa a 4500 MPa. Otro dato que salta su gran diferencia es su

capacidad de elongación que según los datos obtenidos en los ensayos se reduce en un 75%. Cabe destacar que el valor del módulo de cortadura se realiza mediante una aproximación descrita en el punto anterior.

Entrando en la búsqueda de las propiedades mecánicas en las direcciones de las diferentes direcciones, se realizará la misma aproximación que se siguió para la modelización del plástico ASA.

Ya teniendo todos los valores se puede proceder a la modelización del material en el programa de análisis finitos ANSYS.

1.3.2. Modelización

Una vez conseguidos los valores necesarios para realizar una simulación con el material ortótropo, se añaden esos valores a la base de datos interna de Ansys.

Para añadirlos hubo que hacerlo manualmente creando un nuevo material para simulaciones ortótropas. Debido a que se puede imprimir la pieza en cualquiera de las tres direcciones se debe crear un material para cada orientación. Por ello se creó uno para la dirección XY, XZ y YZ. Cabe destacar que esta nomenclatura se compone del nombre del material y las direcciones tensionales favorables. En la siguiente captura se pueden observar las tres variaciones del material creado.

Outline of Schematic B2: Engineering Data		
	A	B
1	Contents of Engineering Data	
2	Material	
3	ASA XY	
4	ASA XZ	
5	ASA YZ	
6	Cabonfil XY	
7	Cabonfil XZ	
8	Cabonfil YZ	

Ilustración 8. Datos insertados en Ansys

Una vez están creados estos materiales hay que rellenar las tablas de datos que Ansys necesita para correr la simulación. Los datos necesarios para realizar una simulación con materiales ortótropos son los siguientes.

- Módulo de Young en las tres direcciones
 - X
 - Y
 - Z

- Módulo de Poisson en todas las caras
 - XY
 - XZ
 - YZ
- Módulo de cortadura en las tres caras
 - XY
 - XZ
 - YZ

Para la selección de la cara del módulo de cortadura más desfavorable hay que tener en cuenta que la dirección menos favorable es el eje de giro que presentaría la pieza aplicándole una fuerza tangencial a esta en la cara del módulo de cortadura más débil. Es decir, imprimiendo una pieza en el plano XY, el eje Z sería el más desfavorable. Entonces, el módulo de cortadura más desfavorable sería el mismo plano que le de impresión, el XY.

En las siguientes tablas se muestran los datos del material Carbonfil en sus tres direcciones en la simulación realizada en el programa Ansys.

Properties of Outline Row 6: Cabonfil XY					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	1100	kg m ⁻³		
3	Orthotropic Elasticity				
4	Young's Modulus X direction	4,5E+09	Pa		
5	Young's Modulus Y direction	4,5E+09	Pa		
6	Young's Modulus Z direction	3,6E+09	Pa		
7	Poisson's Ratio XY	0,41			
8	Poisson's Ratio YZ	0,41			
9	Poisson's Ratio XZ	0,41			
10	Shear Modulus XY	1,7E+09	Pa		
11	Shear Modulus YZ	2E+09	Pa		
12	Shear Modulus XZ	2E+09	Pa		

Ilustración 9. Propiedades mecánicas del Carbonfil XY

Properties of Outline Row 7: Cabonfil XZ					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	1100	kg m ⁻³		
3	Orthotropic Elasticity				
4	Young's Modulus X direction	4,5E+09	Pa		
5	Young's Modulus Y direction	3,6E+09	Pa		
6	Young's Modulus Z direction	4,5E+09	Pa		
7	Poisson's Ratio XY	0,41			
8	Poisson's Ratio YZ	0,41			
9	Poisson's Ratio XZ	0,41			
10	Shear Modulus XY	2E+09	Pa		
11	Shear Modulus YZ	2E+09	Pa		
12	Shear Modulus XZ	1,7E+09	Pa		

Ilustración 10. Propiedades mecánicas del Carbonfil XZ

Properties of Outline Row 8: Cabonfil YZ				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	1100	kg m ⁻³	
3	Orthotropic Elasticity			
4	Young's Modulus X direction	3,6E+09	Pa	
5	Young's Modulus Y direction	4,5E+09	Pa	
6	Young's Modulus Z direction	4,5E+09	Pa	
7	Poisson's Ratio XY	0,41		
8	Poisson's Ratio YZ	0,41		
9	Poisson's Ratio XZ	0,41		
10	Shear Modulus XY	2E+09	Pa	
11	Shear Modulus YZ	1,7E+09	Pa	
12	Shear Modulus XZ	2E+09	Pa	

Ilustración 11. Propiedades mecánicas del Carbonfil YZ

1.4. Nylon + CF

1.4.1. Propiedades mecánicas

En este apartado se van a mostrar las propiedades del material estudiado en el presente proyecto.

1.4.1.1. Fabricante

Como se definió en el apartado anterior el principal problema de estos valores es que el fabricante no especifica las condiciones de los ensayos. Por ejemplo, muchos fabricantes realizan estos ensayos con probetas creadas mediante inyección. De esta manera las propiedades recibidas no son válidas para el estudio que este proyecto pretende realizar.

Las propiedades obtenidas desde la base de datos creada por el fabricante son las detalladas en la siguiente tabla

	Fabricante	
Densidad	1,07	Kg/dm ³
Resistencia al impacto	x	Kj/m ²
Tensión última	110	Mpa
Modulo de Young	8000	Mpa
Elongación a la rotura	x	
Poisson	x	

Tabla 5. Datos cedidos por el fabricante

1.4.1.2. Ensayos

Las propiedades obtenidas a partir del ensayo son las detalladas en la siguiente tabla.

Ensayos		
Densidad	x	Kg/dm ³
Resistencia al impacto	x	Kj/m ²
Tensión última	86,4	Mpa
Modulo de Young	4000	Mpa
Módulo de cortadura	1800	Mpa
Elongación a la rotura	4%	
Poisson	0,42	

Tabla 6. Datos obtenidos a partir del ensayo de tracción

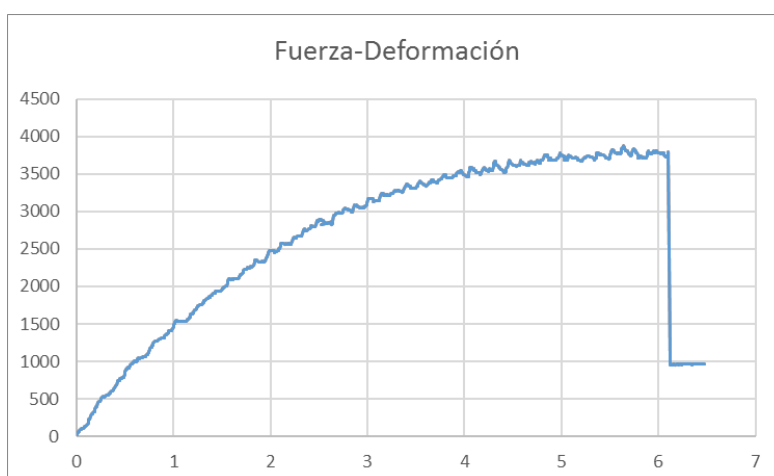


Ilustración 12. Gráfica resultante del ensayo de tracción

Una vez estudiado los datos conseguidos a partir del ensayo de tracción se puede llegar a realizar el gráfico de Fuerza-Desplazamiento o dividiendo la fuerza entre el área de la probeta Tensión-Deformación.

Como se puede observar la capacidad tensional de la pieza es en este reducido de manera sustancial. Pasa de ser 110 MPa a 86.4 MPa. Por otro lado, en este caso la resolución del ensayo brinda un módulo de Young bastante inferior al de la base de datos, pasando de 8000 MPa a 4000 MPa. Cabe destacar que el valor del módulo de cortadura se realiza mediante una aproximación descrita en el análisis del plástico ASA.

Se puede observar la clara diferencia entre las propiedades ofrecidas por el fabricante y las obtenidas después de realizar el ensayo. Esto seguramente sea debido a lo que se mencionó anteriormente, el cual las propiedades se obtienen mediante probetas inyectadas en vez de impresas. También puede ser que se deba a un defecto en el material, pero este punto puede descartarse debido a que

se realizaron otros ensayos con otra bobina obteniendo resultados muy parecidos a los descritos con anterioridad.

Entrando en la búsqueda de las propiedades mecánicas en las direcciones de las diferentes direcciones, se realizará la misma aproximación que se siguió para la modelización del plástico ASA.

Ya teniendo todos los valores se puede proceder a la modelización del material en el programa de análisis finitos ANSYS.

1.4.2. Modelización

Una vez conseguidos los valores necesarios para realizar una simulación con el material ortótropo, se añaden esos valores a la base de datos interna de Ansys.

Para añadirlos hubo que hacerlo manualmente creando un nuevo material para simulaciones ortótropas. Debido a que se puede imprimir la pieza en cualquiera de las tres direcciones se debe crear un material para cada orientación. Por ello se creó uno para la dirección XY, XZ y YZ. Cabe destacar que esta nomenclatura se compone del nombre del material y las direcciones tensionales favorables. En la siguiente captura se pueden observar las tres variaciones del material creado.

Outline of Schematic B2: Engineering Data		
	A	B
1	Contents of Engineering Data	
2	Material	
3	ASA XY	
4	ASA XZ	
5	ASA YZ	
6	Cabonfil XY	
7	Cabonfil XZ	
8	Cabonfil YZ	
9	Carbonium XY	
10	Carbonium XZ	
11	Carbonium YZ	

Ilustración 13. Datos insertados en Ansys

Una vez están creados estos materiales hay que rellenar las tablas de datos que Ansys necesita para correr la simulación. Los datos necesarios para realizar una simulación con materiales ortótropos son los siguientes.

- Módulo de Young en las tres direcciones
 - X
 - Y
 - Z

- Módulo de Poisson en todas las caras
 - XY
 - XZ
 - YZ
- Módulo de cortadura en las tres caras
 - XY
 - XZ
 - YZ

Para la selección de la cara del módulo de cortadura más desfavorable hay que tener en cuenta que la dirección menos favorable es el eje de giro que presentaría la pieza aplicándole una fuerza tangencial a esta en la cara del módulo de cortadura más débil. Es decir, imprimiendo una pieza en el plano XY, el eje Z sería el más desfavorable. Entonces, el módulo de cortadura más desfavorable sería el mismo plano que le de impresión, el XY.

En las siguientes tablas se muestran los datos del material Carbonium en sus tres direcciones en la simulación realizada en el programa Ansys.

Properties of Outline Row 9: Carbonium XY					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	1100	kg m ⁻³		
3	Orthotropic Elasticity				
4	Young's Modulus X direction	4E+09	Pa		
5	Young's Modulus Y direction	4E+09	Pa		
6	Young's Modulus Z direction	3,2E+09	Pa		
7	Poisson's Ratio XY	0,42			
8	Poisson's Ratio YZ	0,42			
9	Poisson's Ratio XZ	0,42			
10	Shear Modulus XY	1,5E+09	Pa		
11	Shear Modulus YZ	1,8E+09	Pa		
12	Shear Modulus XZ	1,8E+09	Pa		

Ilustración 14. Propiedades mecánicas del Carbonium XY

Properties of Outline Row 10: Carbonium XZ					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	1100	kg m ⁻³		
3	Orthotropic Elasticity				
4	Young's Modulus X direction	4E+09	Pa		
5	Young's Modulus Y direction	3,2E+09	Pa		
6	Young's Modulus Z direction	4E+09	Pa		
7	Poisson's Ratio XY	0,42			
8	Poisson's Ratio YZ	0,42			
9	Poisson's Ratio XZ	0,42			
10	Shear Modulus XY	1,8E+09	Pa		
11	Shear Modulus YZ	1,8E+09	Pa		
12	Shear Modulus XZ	1,5E+09	Pa		

Ilustración 15. Propiedades mecánicas del Carbonium XZ



Properties of Outline Row 11: Carbonium YZ				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	 Density	1100	kg m ⁻³	<input type="checkbox"/>
3	 Orthotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>
4	Young's Modulus X direction	3,2E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
5	Young's Modulus Y direction	4E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
6	Young's Modulus Z direction	4E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
7	Poisson's Ratio XY	0,42		<input type="checkbox"/>
8	Poisson's Ratio YZ	0,42		<input type="checkbox"/>
9	Poisson's Ratio XZ	0,42		<input type="checkbox"/>
10	Shear Modulus XY	1,8E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
11	Shear Modulus YZ	1,5E+09	Pa	<input type="checkbox"/>
12	Shear Modulus XZ	1,8E+09	Pa	<input type="checkbox"/>

Ilustración 16. Propiedades mecánicas del Carbonium YZ

2. Cálculos

2.1. Introducción

En este anexo se van a mostrar los diferentes puntos en los que se han realizados cálculos numéricos.

Los cálculos realizados son los siguientes:

- Capacidad y amperaje de las baterías
- Número de dientes de las poleas y su distancia entre centros
- Con los datos anteriores calcular la velocidad de giro del motor y la velocidad en las ruedas
- Radio de giro del patinete

2.2. Baterías

Como requerimiento inicial del proyecto se había estipulado un voltaje máximo de las baterías de 22,2 voltios o también denominadas baterías de 6 celdas. También se decidió que estas baterías tenían que tener una capacidad de almacenamiento de energía de 10000 Mah.

Otro objeto que ya se tenía en posesión era el motor el cual tenía unos requerimientos máximos de amperaje de 60 amperios. Por ende, la batería tiene que ser capaz de entregarlos de una manera eficaz y constante.

Como se definió en la memoria la batería al menos tiene que tener la siguiente capacidad de entrega:

$$C = \frac{\text{Salida de amperaje máxima}}{\text{Capacidad de la batería}}$$

En este caso al tener una batería de 10 Ah y una necesidad de 60 Amperios se requiere de una batería de 10Ah con una tasa de descarga de al menos 6C.

2.3. Poleas y correa

Para realizar estos cálculos primero cabe definir cuáles son las especificaciones de las poleas y la correa a utilizar.

- Correa de paso 5 milímetros, anchura de 9 milímetros y longitud de 375 milímetros
- Polea motriz de 15 dientes
- Polea conducida de 40 dientes

Con estos datos se procede a calcular la ratio de transmisión el cual se obtiene dividiendo el número de dientes de la polea conducida entre la polea motriz dando un resultado de 2,67.

Ya teniendo todos estos datos se puede proceder al cálculo de la distancia que tiene que haber entre centros. Esta distancia se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{L}{4} - 0,3925x \left(\frac{P * Z1}{Pi} + \frac{P * Z2}{Pi} \right) + \sqrt{\left(\frac{L}{4} - 0,3925x \left(\frac{P * Z1}{Pi} + \frac{P * Z2}{Pi} \right) \right)^2 - \frac{(Z2 - Z1)^2}{8}}$$

Siendo:

- L: Longitud de la correa
- P: Paso de la correa y poleas
- Z1: Número de dientes de la polea motriz
- Z2: Número de dientes de la polea conducida

Dando como resultado una distancia entre centros de 118,1 milímetros.

2.4. Motor

En este apartado se van a mostrar las velocidades teóricas a las que puede llegar el motor y el longboard en condiciones ideales. Para ello se necesitan las características técnicas del mismo y de la transmisión:

- Potencia de 200 Kv
- Relación de transmisión de 2,67
- Batería de 22,2 voltios
- Rueda de 93 mm de diámetro

Lo primero es calcular las revoluciones máximas del motor, para ello solo hay que multiplicar la potencia del motor en kilovoltios y el voltaje de la batería. Dando como resultado una velocidad de giro de 4440 rpm.

Lo siguiente es calcular la rotación de la rueda conducida, para ello solo hay que dividir el valor de la rotación del motor entre la relación de transmisión. Dando como resultado una velocidad de rotación de 1663 rpm.

A continuación, se calcula la longitud de la circunferencia de la rueda que es en este caso 292,17 milímetros o 0,00029217 kilómetros.

Una vez se tienen a disposición estos valores se procede a calcular la velocidad máxima del patinete. Lo que se debe hacer es multiplicar las revoluciones de la rueda por 60 para pasarlo a horas y por la longitud de circunferencia de la rueda. De esta manera sale una velocidad máxima de aproximadamente 30 Km/h.

Como se definió anteriormente esta es una velocidad teórica, mientras que en la realidad este valor suele estar entorno al 75% del teórico, resultando una velocidad máxima de 22,5 Km/h.

3. Simulación

En este apartado se van a exponer todos los puntos involucrados en la modelización y simulación del longboard eléctrico impreso en 3D desarrollado en este proyecto. Como se especificó anteriormente el programa utilizado es Ansys Workbench en su versión 17.2.

A continuación, se muestran los resultados y configuraciones de las hipótesis de carga estudiadas bajo el método de los elementos finitos.

3.1. Hipótesis de carga 1

3.1.1. Introducción

Esta primera hipótesis de carga sigue lo descrito bajo la normativa UNE-EN 13613:2010, la cual estipula que el longboard debe de ser capaz de soportar un determinado peso de manera estática. Este peso varía dependiendo de en que grupo se encuentre el usuario. En total hay dos grupos.

- Personas de 50 hasta 100 kg: Si el patinete está dirigido a este grupo de personas, el patinete debe soportar sin romperse un peso de 40 kilogramos en cada uno de sus extremos o donde este pensado que vaya a estar colocados los pies del usuario.
- Personas de menos de 50 kg: Al igual que el anterior, si el patinete está dirigido a este grupo de personas, el patinete debe soportar sin romperse un peso de 20 kilogramos en cada uno de sus extremos o donde este pensado que vaya a estar colocados los pies del usuario.

La diferencia de los pesos depende únicamente del usuario al que estar dirigido. En este caso el longboard, va dirigido al primer grupo de personas. Por realizar el estudio de una manera lo más realista posible, en vez de colocar pesos de 40 Kg, se van a colocar pesos de 50Kg, de esta manera si se monta una persona de 100 kilogramos, se puede estar completamente seguro de que este no se va a romper.

3.1.2. Modelización

En este punto se tratarán los detalles más específicos de cada simulación, debido que los datos más generales fueron expuestos en su punto correspondiente a la simulación en la memoria.

3.1.2.1. Cargas

Al estar en la primera hipótesis de carga la carga que se aplicará en la tabla, más concretamente en la cara superior del modelo denominado TABLA2 será de 500N.

Por otro lado, los bujes de las ruedas estarán fijados en su posición inicial, solo pudiendo desplazarse en el eje Z del sistema de referencia de la simulación. De

esta manera se puede simular el movimiento de la suspensión de la manera más realista posible. En cuanto a la tabla esta tendrá bloqueado el giro debido a que en la realidad el usuario la auto-balanceará con su cuerpo para que en todo momento este en la posición original.

En la siguiente ilustración se muestran las condiciones de contorno aplicadas en esta hipótesis.

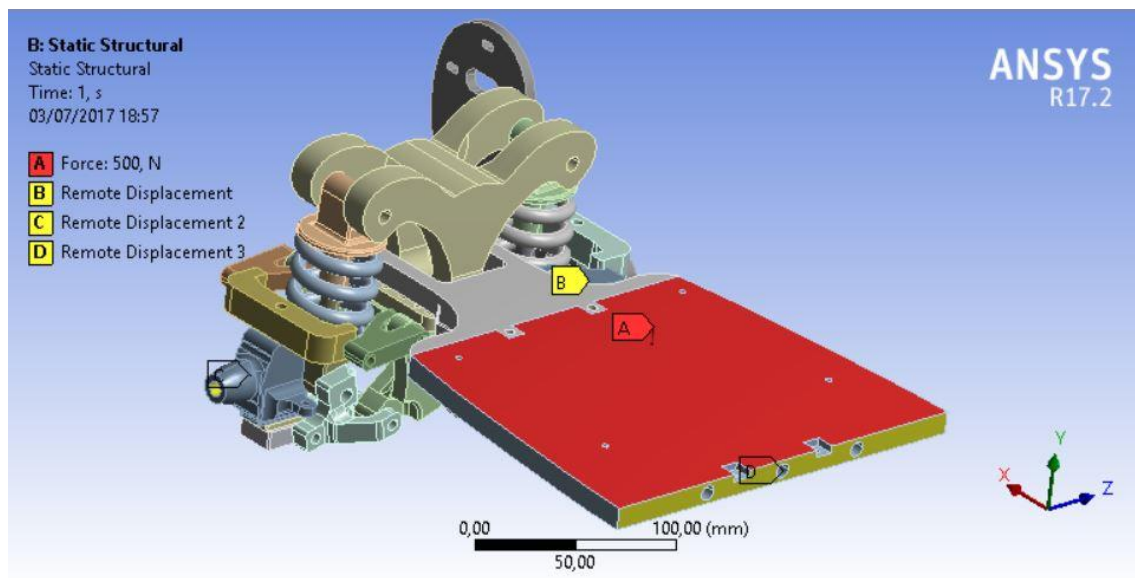


Ilustración 17. Condiciones de contorno

En la siguiente imagen se muestra la colocación y valores de uno de los elementos fijados, en este caso el buje trasero derecho.

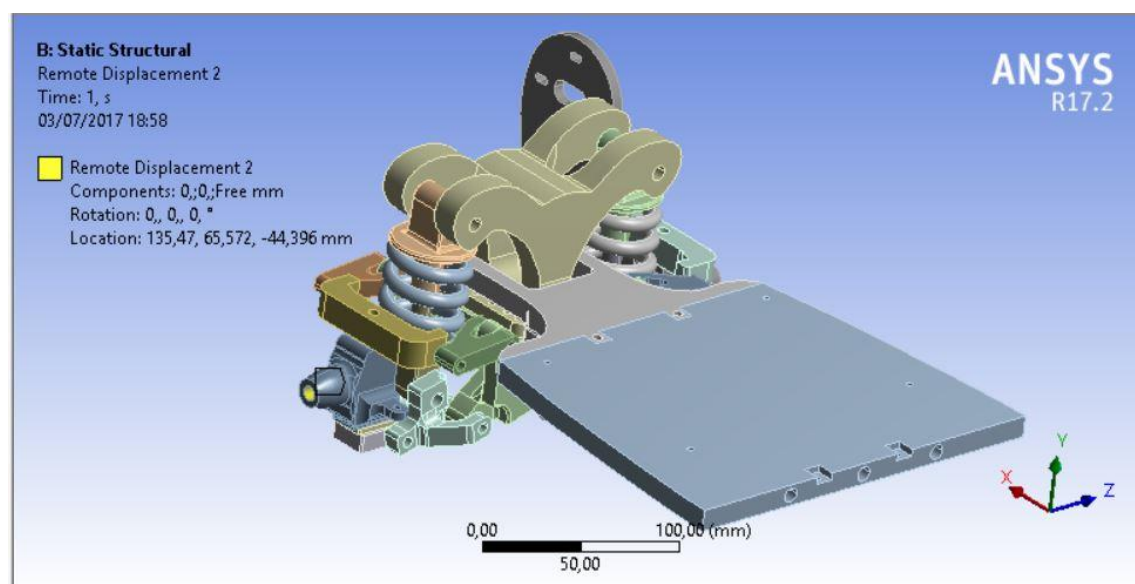


Ilustración 18. Condiciones de contorno del buje

En este caso el desplazamiento número 1 es idéntico al número 2 pero se concentra en el buje del lado opuesto, tal y como se especificó con anterioridad.

En esta última imagen se muestran las condiciones de contorno de la tabla del longboard.

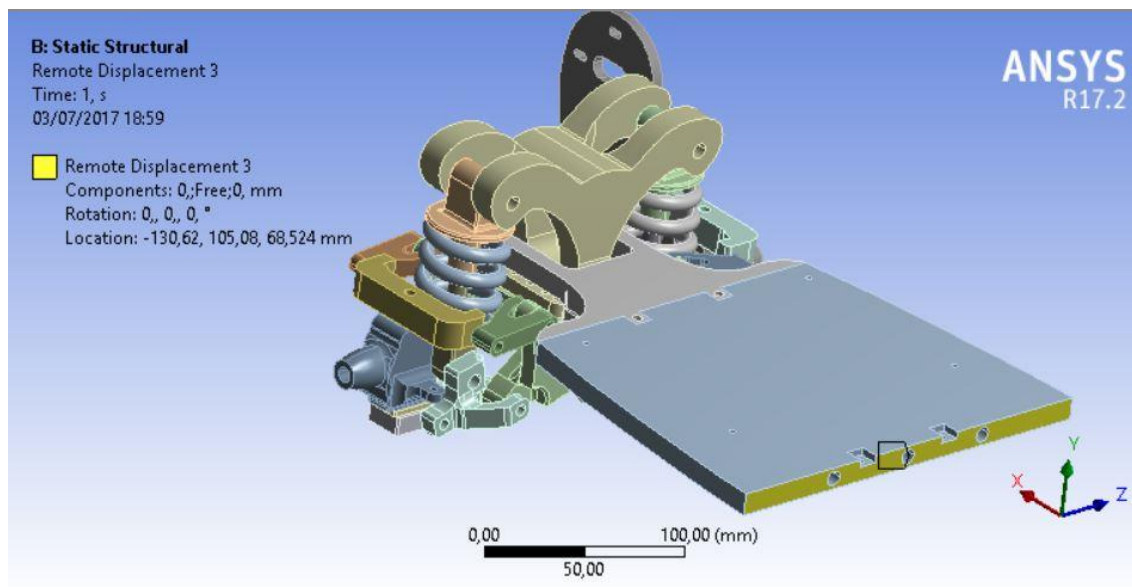


Ilustración 19. Condiciones de contorno de la tabla

3.1.3. Resultados

Una vez incorporadas las condiciones de contorno y mallado el modelo se procede a realizar la simulación del mismo.

El software empleado permite visualizar los resultados de múltiples maneras, ya sea sobre el sólido completo o de forma más exhaustiva, por las diferentes piezas del conjunto de manera individualizada.

3.1.3.1. Tensiones de Von Mises

A continuación, se mostrarán las tensiones producidas en los diferentes elementos impresos del longboard. Para ello se realizará un estudio pieza a pieza del modelo.

3.1.3.1.1. Truck

En la siguiente fotografía puede observarse la distribución tensional del truck del longboard. Esta es la pieza central del longboard en donde se conectan el resto de elementos. Como se puede observar las mayores tensiones se producen tanto en las uniones de la pieza que conecta la suspensión y el truck. También se producen las tensiones máximas en la unión de los brazos de suspensión al mismo.

Las tensiones máximas son del orden de 18,7 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

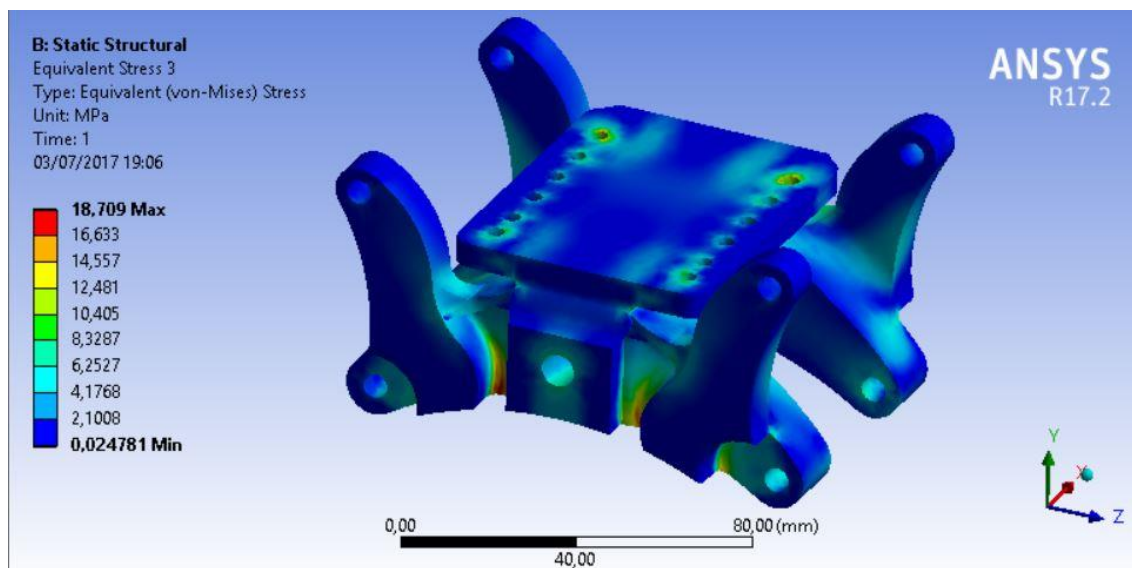


Ilustración 20. Tensiones de Von Mises en el truck

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 18,7 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 4,6.

3.1.3.1.2. Tabla

En la siguiente fotografía puede observarse la distribución tensional de la tabla del longboard. En estas piezas es donde el usuario se coloca. Como se puede observar las mayores tensiones se producen en la unión de las partes que se conectan al truck para girar en torno a la propia tabla en si. Esto es bastante usual debido a que la tabla trata de doblarse sobre si misma en esa zona, debido a que es el extremo de su punto de apoyo.

Las tensiones máximas son del orden de 36,7 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 74 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

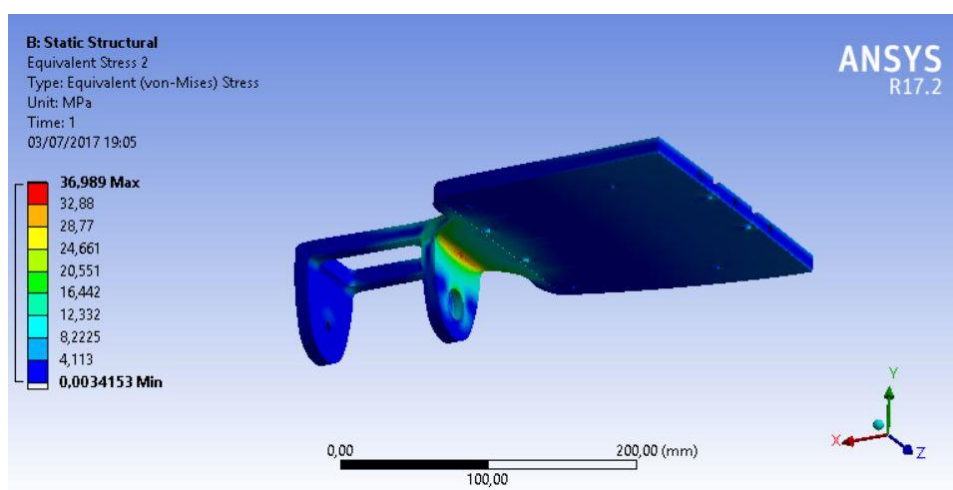


Ilustración 21. Tensiones de Von Mises en la tabla

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 37 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 2.

3.1.3.1.3. Bujes

En la siguiente fotografía puede observarse la distribución tensional de los bujes del longboard. En estas piezas es donde se conectan los brazos de suspensión y las ruedas. Como se dijo, esta fue la pieza más difícil de diseñar, debido a que se producen las tensiones máximas, llegando en diseños previos a superar las máximas. Como se puede observar las mayores tensiones se producen en la unión de la parte inferior y la pieza que le permite girar respecto al sistema. También se produce en la zona donde se introduce la tuerca autoblocante para unir las piezas inferiores

Las tensiones máximas son del orden de 27,42 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

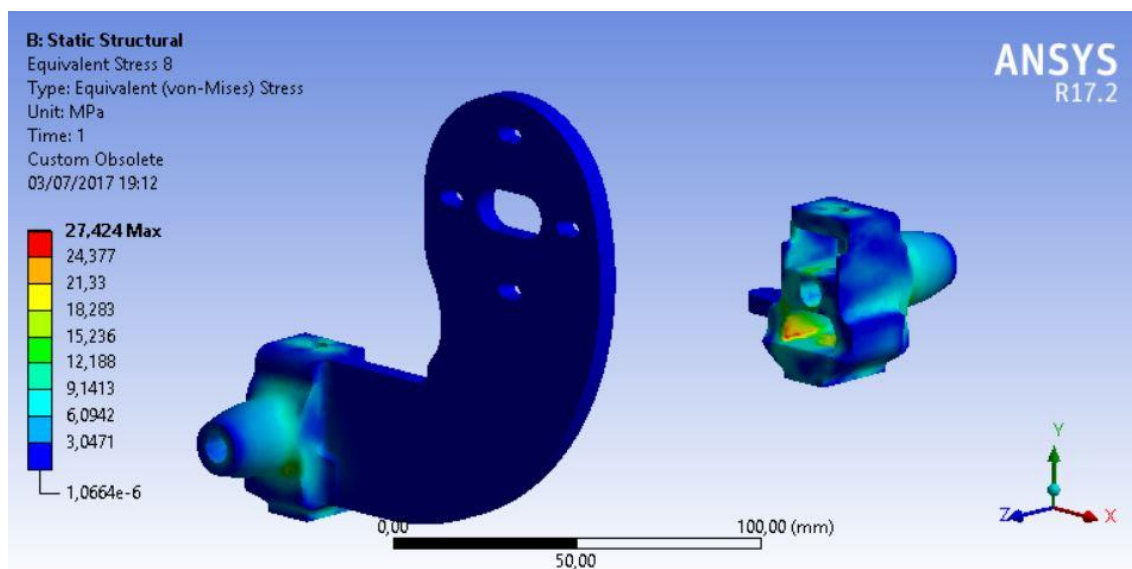


Ilustración 22. Tensiones de Von Mises en los bujes

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 27,4 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 3,14.

3.1.3.1.4. Brazos de suspensión inferior

En la siguiente fotografía puede observarse la distribución tensional de los brazos inferiores del longboard. Estas piezas sirven para conectar el truck con los amortiguadores y la pieza inferior del buje. Como se puede observar las mayores tensiones se producen en la unión de la parte trasera y el truck. Por otro lado, también se produce en la zona central que sirve de unión y alivio de los brazos inferiores de la suspensión.

Las tensiones máximas son del orden de 22,5 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

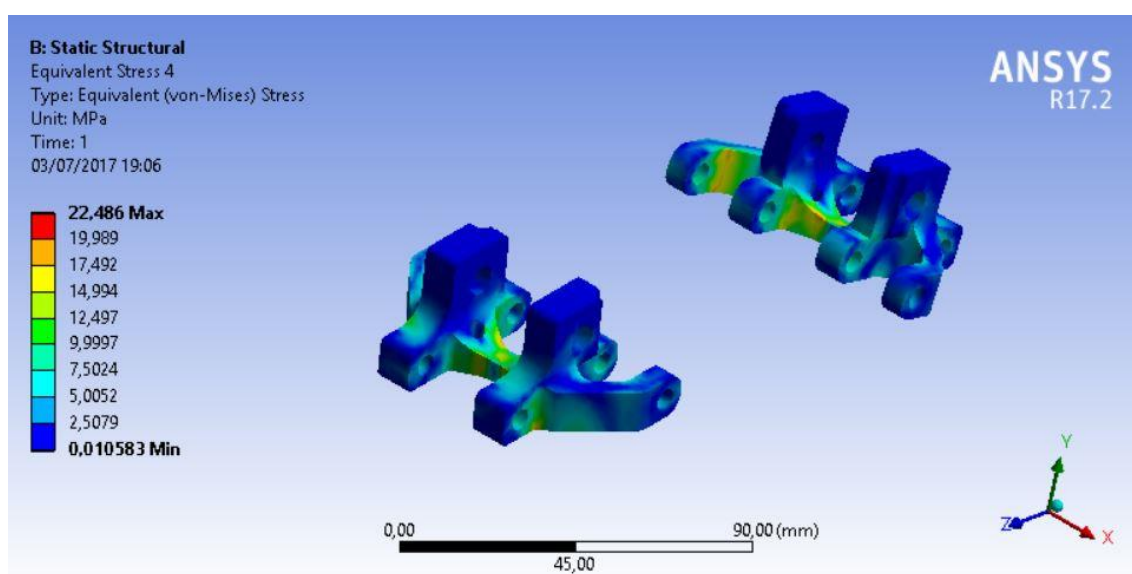


Ilustración 23. Tensiones de Von Mises en los brazos inferiores

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 22,5 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 3,82.

3.1.3.1.5. Brazos de suspensión superior

En la siguiente fotografía puede observarse la distribución tensional de los brazos superiores del sistema de suspensión del longboard. Esta pieza tiene un trabajo similar a la pieza anterior, en este caso su función la cumple en la parte superior, uniendo el truck u la pieza superior encontrada encima del buje de las ruedas. Las tensiones máximas se producen en la parte en la que se separan a dos brazos. Las tensiones máximas se producen en ese lugar debido a que es una zona de concentración de tensiones debido a ese redondeo.

Las tensiones máximas son del orden de 9,66 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

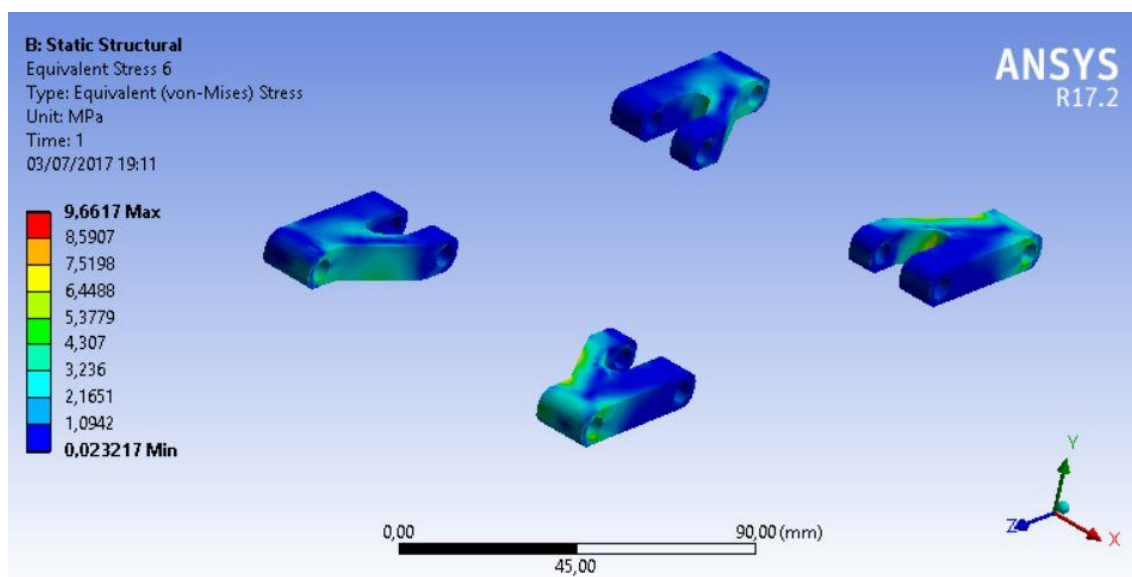


Ilustración 24. Tensiones de Von Mises en los brazos superiores

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 9,66 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 8,9.

3.1.3.1.6. Pieza inferior del buje

En la siguiente ilustración puede observarse la distribución tensional de las piezas que se colocan debajo del buje que permite que gire el longboard. Como se puede observar las tensiones se producen en la unión de la pieza con el buje. Al igual que la pieza del buje en la unión hubo grandes problemas para que las tensiones sean inferiores a la máxima en las hipótesis más restrictivas.

Las tensiones máximas son del orden de 29,7 MPa, estando aún lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

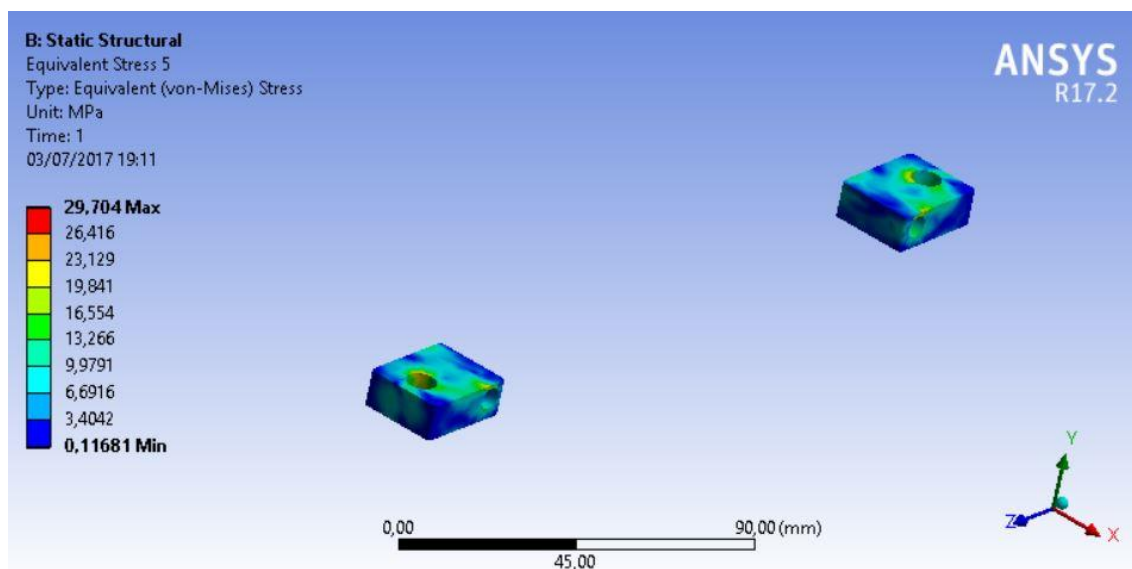


Ilustración 25. Tensiones de Von Mises en las piezas inferiores del buje

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 29,7 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 2,9.

3.1.3.1.7. Pieza superior del buje

En la siguiente fotografía puede observarse la distribución tensional de la pieza que se coloca justo encima del buje del longboard. En estas piezas es donde se conectan los brazos de superiores de la suspensión y de esta manera permite a las ruedas girar. Como se puede observar las mayores tensiones se producen en la unión entre el buje y la pieza. También se produce una gran cantidad de tensión en las uniones de esta pieza y los brazos superiores del sistema de suspensión.

Las tensiones máximas son del orden de 11,11 MPa, estando muy lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

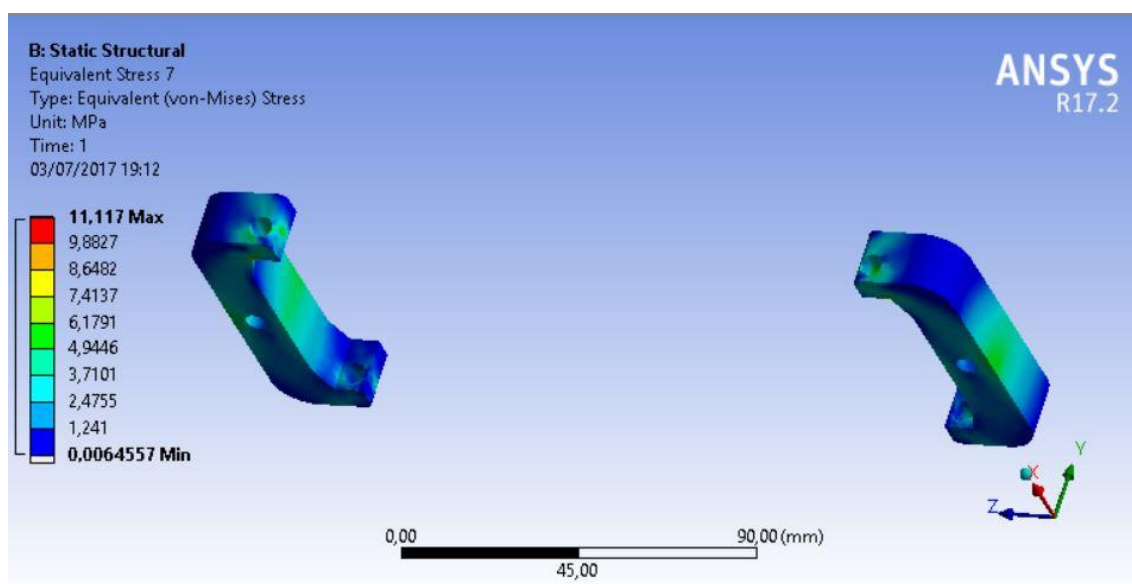


Ilustración 26. Tensiones de Von Mises en las piezas superiores del buje

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 11.11 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 7,74.

3.1.3.1.8. Soporte de la suspensión

En la siguiente fotografía puede observarse la distribución tensional de la pieza que se encarga de absorber las fuerzas provenientes del sistema de suspensión y el amortiguador. Esta pieza une el sistema de suspensión con el truck del longboard. Es una pieza crucial en el sistema, ya que si esta falla, todo el sistema de suspensión rompería y podrían ocurrirle graves daños al usuario. En este caso las tensiones se concentran en la unión de la pieza con el truck. Debido a esas elevadas tensiones hubo que añadirle tantas uniones. Por otro lado, en este caso también se producen altas tensiones en la unión de los brazos, pero llegando a valores relativamente pequeños en comparación a los que es capaz de aguantar.

Las tensiones máximas son del orden de 16,2 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

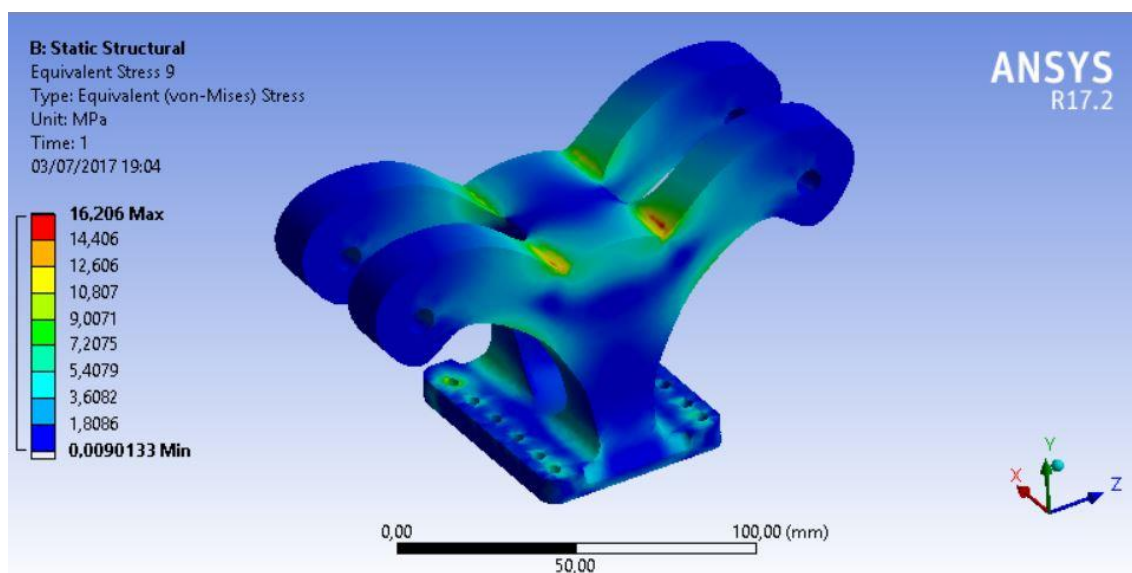


Ilustración 27. Tensiones de Von Mises en los soportes de la suspensión

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 16,2 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 5,3.

3.2. Hipótesis de carga 2

3.2.1. Introducción

En esta segunda hipótesis se busca estudiar el paso del monopatín por un bache de 20 mm. Esta hipótesis está definida en la norma UNE-EN 13613:2010 correspondiente a los ensayos que hay que realizar a un skateboard para que sea seguro. Esta norma estipula que el skate debe ser capaz de pasar por encima de un bache de 20 milímetros de altura sin romperse. Por otro lado, también define que en la tabla habrá un peso de 20 kilogramos en la zona donde se apoya un pie del usuario y que la parte trasera de la tabla estará empotrada.

3.2.2. Modelización

En este punto se tratarán los detalles más específicos de cada simulación, debido que los datos más generales fueron expuestos en su punto correspondiente a la simulación en la memoria.

3.2.2.1. Cargas

Al estar en la segunda hipótesis de carga, la carga que se aplicará en la tabla, más concretamente en la cara superior del modelo denominado TABLA2 será de 200N.

Por otro lado, uno de los bujes de las ruedas estará fijado en su posición inicial, solo pudiendo desplazarse en el eje Z del sistema de referencia de la simulación. En cambio, el otro tendrá un desplazamiento en el eje Y de 20mm. De esta manera se puede simular el movimiento de la suspensión de la manera más realista posible cuando se pasa por encima del bache con el longboard. En cuanto a la tabla esta tendrá bloqueados todos los grados de libertad tal y como indica la normativa.

En la siguiente ilustración se muestran las condiciones de contorno aplicadas en esta hipótesis.

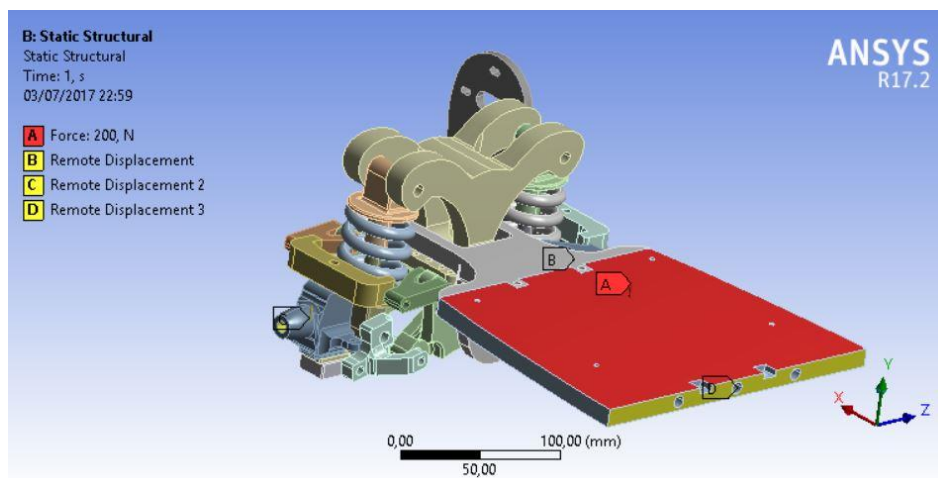


Ilustración 28. Condiciones de contorno

Como se observa en la fotografía las condiciones de contorno siguientes.

- A: Fuerza de 200N aplicada a la parte superior de la tabla.
- B: Bloqueo de desplazamiento en todos los ejes menos el eje z.
- C: Bloqueo de desplazamiento en todos los ejes menos el eje z que está libre y un desplazamiento de 20 milímetros en dirección positiva.
- D: Bloqueo de todos los grados de libertad de la tabla.

3.2.3. Resultados

Una vez incorporadas las condiciones de contorno y mallado el modelo se procede a realizar la simulación del mismo.

El software empleado permite visualizar los resultados de múltiples maneras, ya sea sobre el sólido completo o de forma más exhaustiva, por las diferentes piezas del conjunto de manera individualizada.

3.2.3.1. Tensiones de Von Mises

A continuación, se mostrarán las tensiones producidas en los diferentes elementos impresos del longboard. Para ello se realizará un estudio pieza a pieza del modelo.

3.2.3.1.1. Truck

Al igual que en la hipótesis anterior se mostrarán los resultados de las tensiones de la pieza denominada truck. Las tensiones máximas en este caso se producen en unos puntos similares al anterior caso y viendo mejor en esta hipótesis la necesidad de tantos puntos de fijación

Las tensiones máximas son del orden de 49.5 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

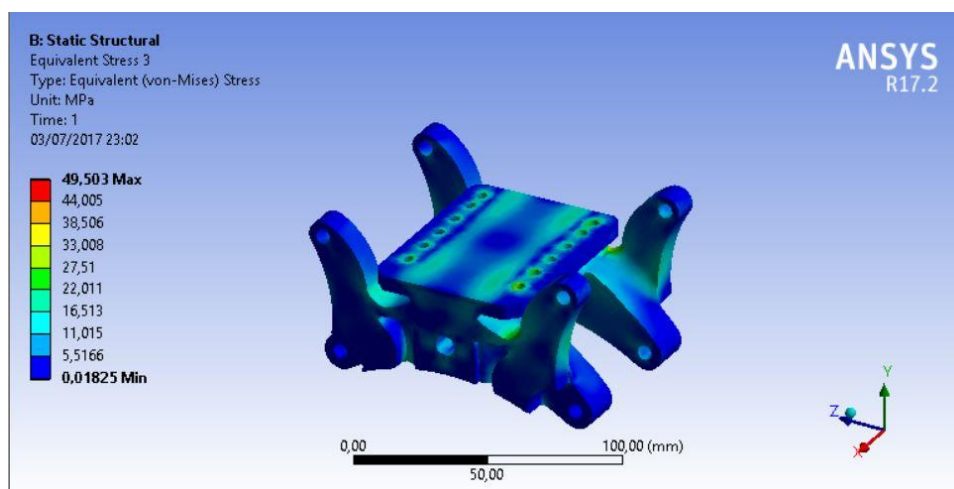


Ilustración 29. Tensiones de Von Mises en el truck

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 49.5 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 1,73.

3.2.3.1.2. Tabla

Al igual que en la hipótesis número 1, las tensiones máximas se producen en el mismo lugar. Aun así, las tensiones se ven reducidas respecto a la anterior hipótesis.

Las tensiones máximas son del orden de 20.29 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 74 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

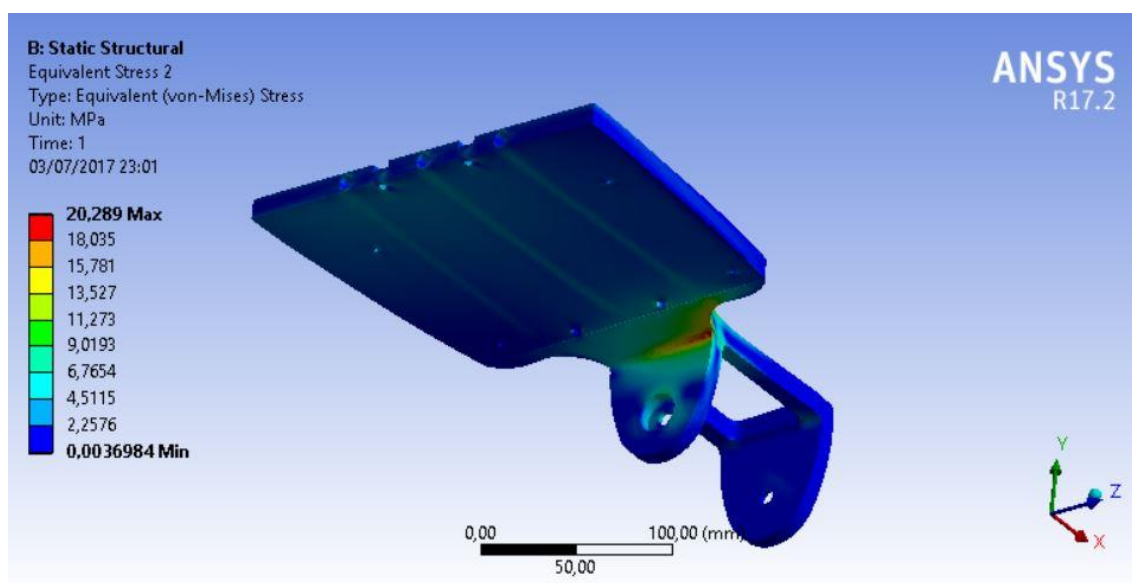


Ilustración 30. Tensiones de Von Mises en la tabla

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 20.29 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 3.65.

3.2.3.1.3. Bujes

De igual manera que en la hipótesis número 1, las tensiones máximas se producen por el mismo lugar. En cambio, esta vez las tensiones máximas se producen en la pieza que se ve levantada los 20 mm. En este caso las tensiones se ven aumentadas de una manera considerable.

Las tensiones máximas son del orden de 57.45 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

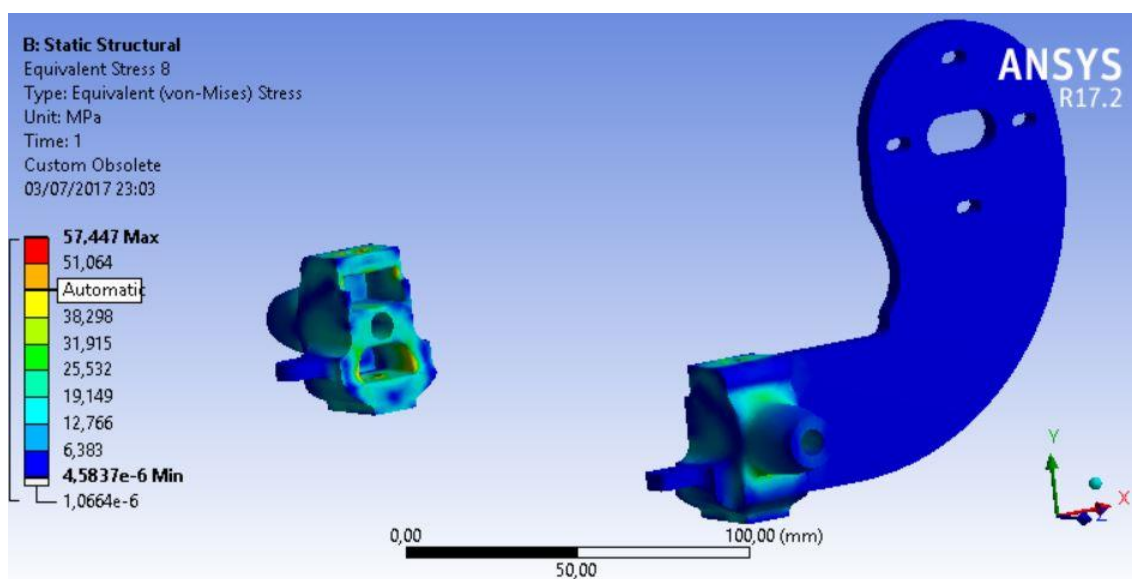


Ilustración 31. Tensiones de Von Mises en los bujes

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 57,45 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 1,5.

3.2.3.1.4. Brazos de suspensión inferior

Esta pieza se ve que bajo esta hipótesis trabaja de una manera más uniforme. Además, se puede observar como las tensiones máximas se reducen mientras que se siguen produciendo en puntos de concentración de tensiones como son los puntos de unión de los diferentes brazos.

Las tensiones máximas son del orden de 20.82 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

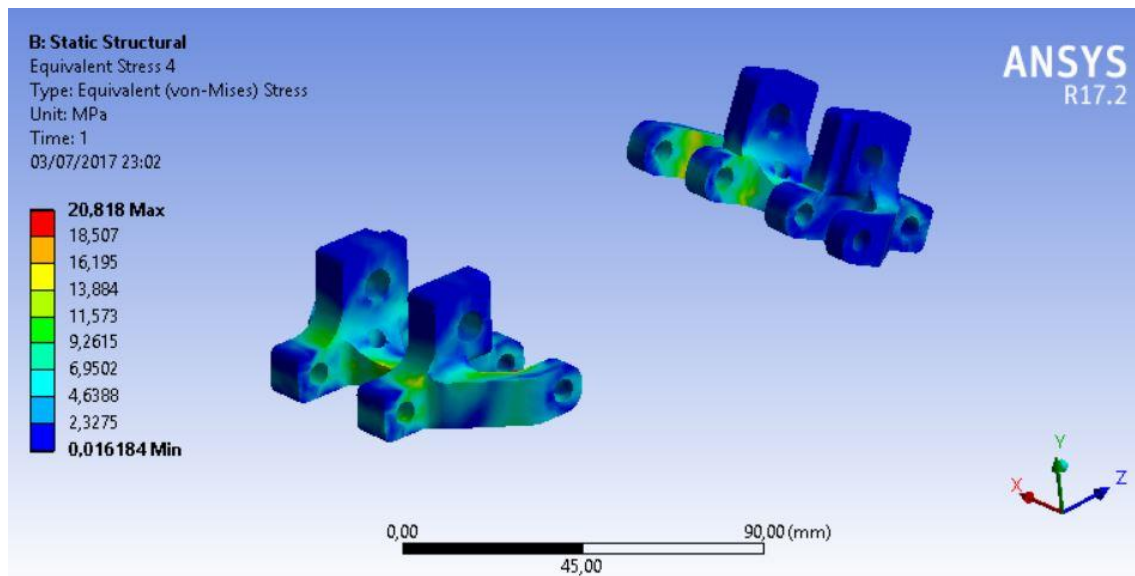


Ilustración 32. Tensiones de Von Mises en los brazos inferiores del sistema de suspensión

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 20.82 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 4,13.

3.2.3.1.5. Brazos de suspensión superior

En el caso de esta pieza se observa como sus tensiones aumentan de manera considerable cuando se le aplica el desplazamiento a la rueda. Como se puede ver, las tensiones máximas se producen en la unión de la pieza con la pieza que va encima del buje de la rueda del longboard.

Las tensiones máximas son del orden de 32.72 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

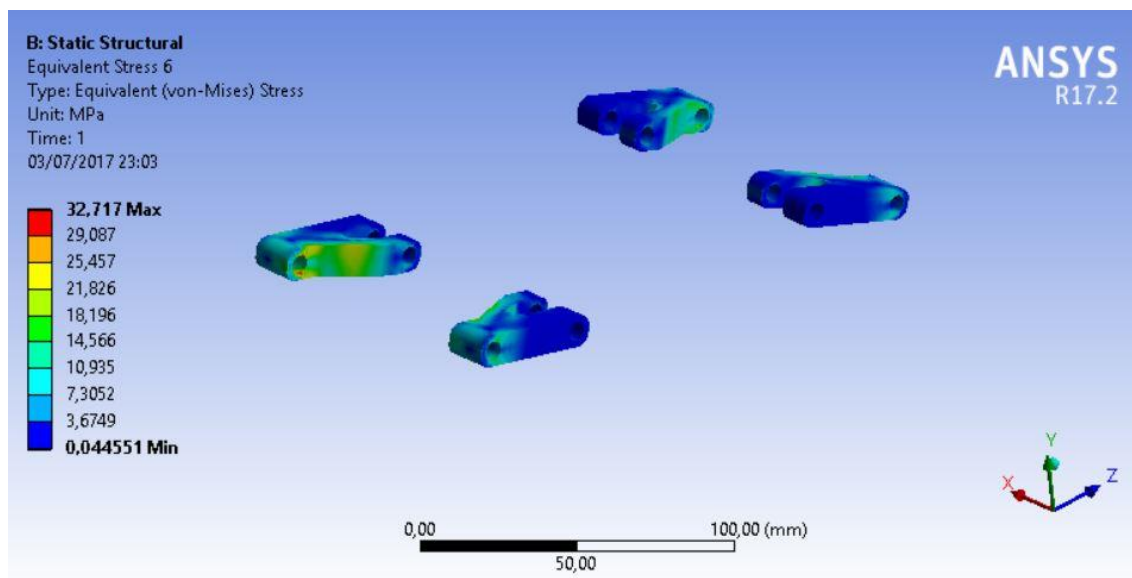


Ilustración 33. Tensiones de Von Mises en los brazos superiores del sistema de suspensión

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 32.72 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 2.63.

3.2.3.1.6. Pieza inferior del buje

Estas piezas al igual que el propio buje de las ruedas son las que más sufren. En este caso las tensiones son muy parecidas entre ambas. Por otro lado, al igual que en la hipótesis anterior las tensiones máximas se producen en la unión atornillada de esta con el buje. Cabe destacar que las tensiones máximas se producen en la pieza que es levantada los 20 milímetros.

Las tensiones máximas son del orden de 55 MPa, estando aún lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

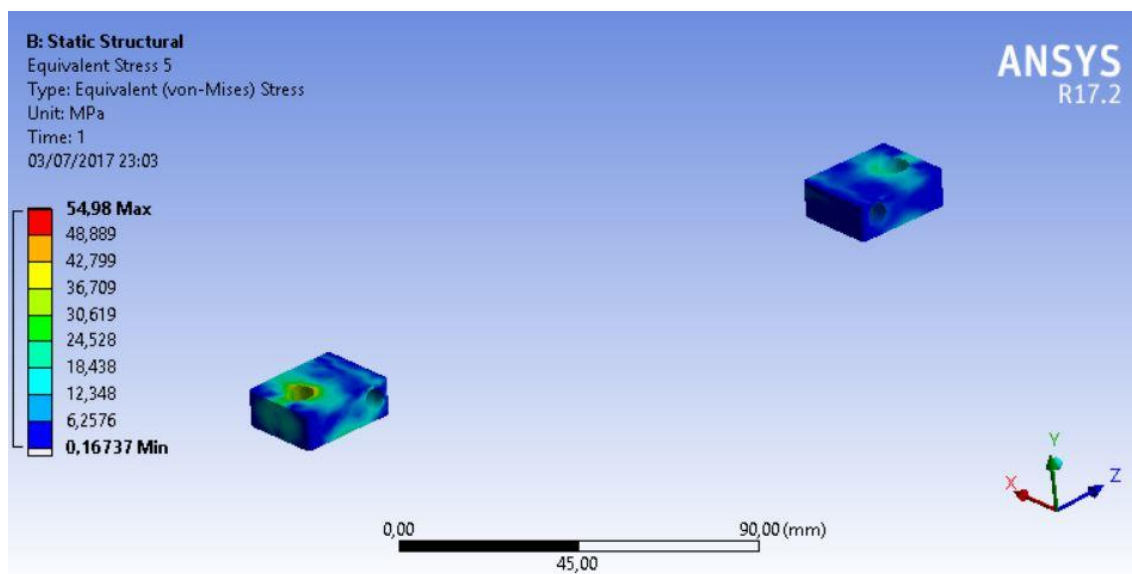


Ilustración 34. Tensiones de Von Mises en las piezas inferiores del buje

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 55 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 1.56.

3.2.3.1.7. Pieza superior del buje

En cuanto a las piezas que se colocan en la parte superior del buje se puede ver que le ocurre de igual manera que a los brazos superiores. Las tensiones máximas se producen en las piezas que se levantan esos 20 milímetros. También se producen estas tensiones en el punto de unión de estas piezas con el buje de las ruedas.

Las tensiones máximas son del orden de 26 MPa, estando muy lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

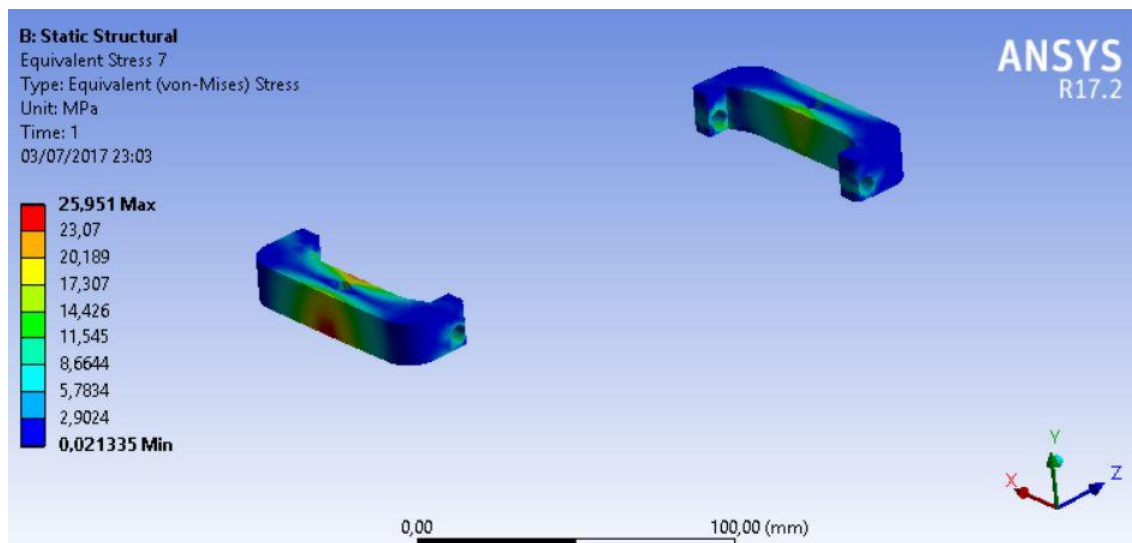


Ilustración 35. Tensiones de Von Mises en las piezas superiores del buje

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 26 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 3,31.

3.2.3.1.8. Soporte de la suspensión

En este caso las tensiones máximas principales se producen en la parte inferior de la pieza, justamente en la unión de la base y los brazos de la suspensión. Aunque se produce una gran concentración de tensiones, el material es capaz de aguantar la carga a la que es sometida.

Las tensiones máximas son del orden de 53,72 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

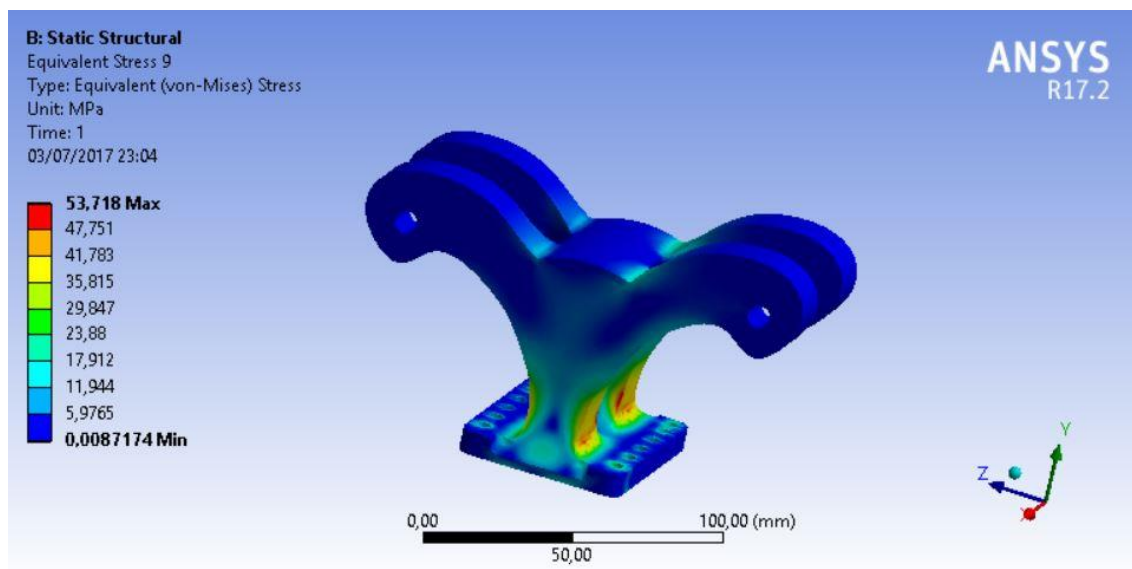


Ilustración 36. Tensiones de Von Mises en los soportes de los amortiguadores

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 53,72 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 1,6.

3.3. Hipótesis de carga 3

3.3.1. Introducción

En esta tercera hipótesis se busca estudiar el paso del monopatín por un bache de 20 mm como en la hipótesis anterior. En cambio, esta vez la tabla ya no está empotrada en la parte trasera, sino que se busca ser más precisos con lo que pasa en el mundo real. En este caso se incorpora el peso del usuario mientras que este pasa el bache y, además, la tabla ya no está empotrada en su extremo.

Por consiguiente, esta hipótesis es bastante más restrictiva que la anterior, generándose aquí las mayores tensiones de todas.

3.3.2. Modelización

En este punto se tratarán los detalles más específicos de cada simulación, debido que los datos más generales fueron expuestos en su punto correspondiente a la simulación en la memoria.

3.3.2.1. Cargas

Al estar en la tercera hipótesis de carga, la carga que se aplicará en la tabla, más concretamente en la cara superior del modelo denominado TABLA2 será de 500N, al igual que en la hipótesis 1.

Por otro lado, uno de los bujes de las ruedas estará fijado en su posición inicial, solo pudiendo desplazarse en el eje Z del sistema de referencia de la simulación. En cambio, el otro tendrá un desplazamiento en el eje Y de 20mm. De esta manera se puede simular el movimiento de la suspensión de la manera más realista posible cuando se pasa por encima del bache con el longboard. En cuanto a la tabla esta tendrá bloqueado el giro debido a que en la realidad el usuario la auto-balanceará con su cuerpo para que en todo momento este en la posición original, al igual que pasaba en la hipótesis número 1.

En la siguiente ilustración se muestran las condiciones de contorno aplicadas en esta hipótesis.

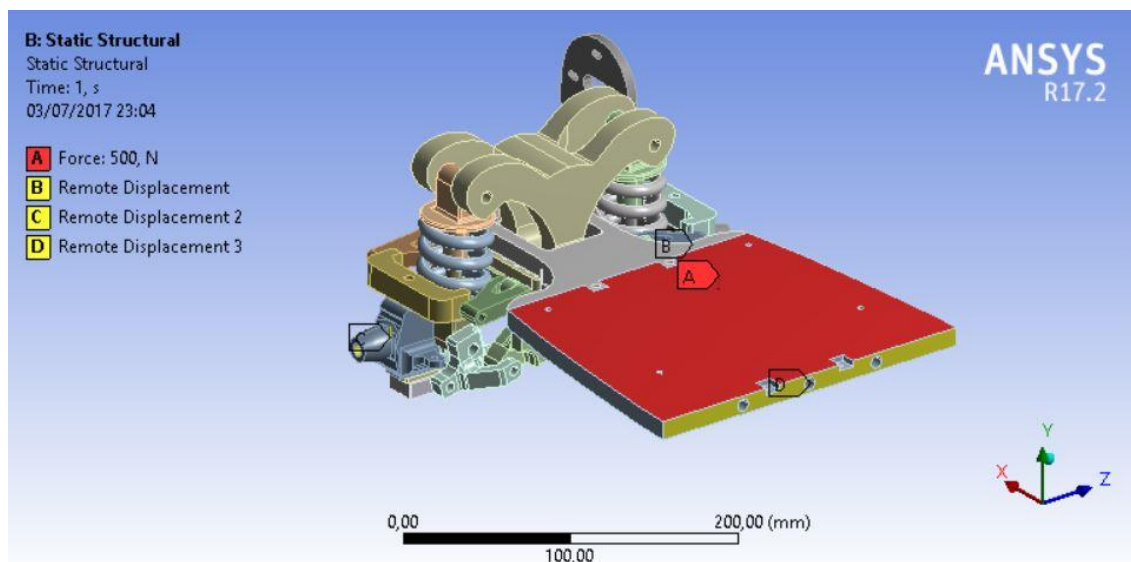


Ilustración 37. Condiciones de contorno

Como se observa en la fotografía las condiciones de contorno siguientes.

- A: Fuerza de 500N aplicada a la parte superior de la tabla.
- B: Bloqueo de desplazamiento en todos los ejes menos el eje z.
- C: Bloqueo de desplazamiento en todos los ejes menos el eje z que está libre y un desplazamiento de 20 milímetros en dirección positiva.
- D: Bloqueo de desplazamientos en todos los ejes menos en el eje Y.

3.3.3. Resultados

Una vez incorporadas las condiciones de contorno y mallado el modelo se procede a realizar la simulación del mismo.

El software empleado permite visualizar los resultados de múltiples maneras, ya sea sobre el sólido completo o de forma más exhaustiva, por las diferentes piezas del conjunto de manera individualizada.

3.3.3.1. Tensiones de Von Mises

A continuación, se mostrarán las tensiones producidas en los diferentes elementos impresos del longboard. Para ello se realizará un estudio pieza a pieza del modelo.

3.3.3.1.1. Truck

Al igual que en las hipótesis anteriores se mostrarán los resultados de las tensiones de la pieza denominada truck. Las tensiones máximas en este caso se producen en unos puntos similares al anterior caso y viendo mejor en esta hipótesis la necesidad de tantos puntos de fijación, siendo estos últimos muy similares a los de la anterior hipótesis.

Las tensiones máximas son del orden de 56,5 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

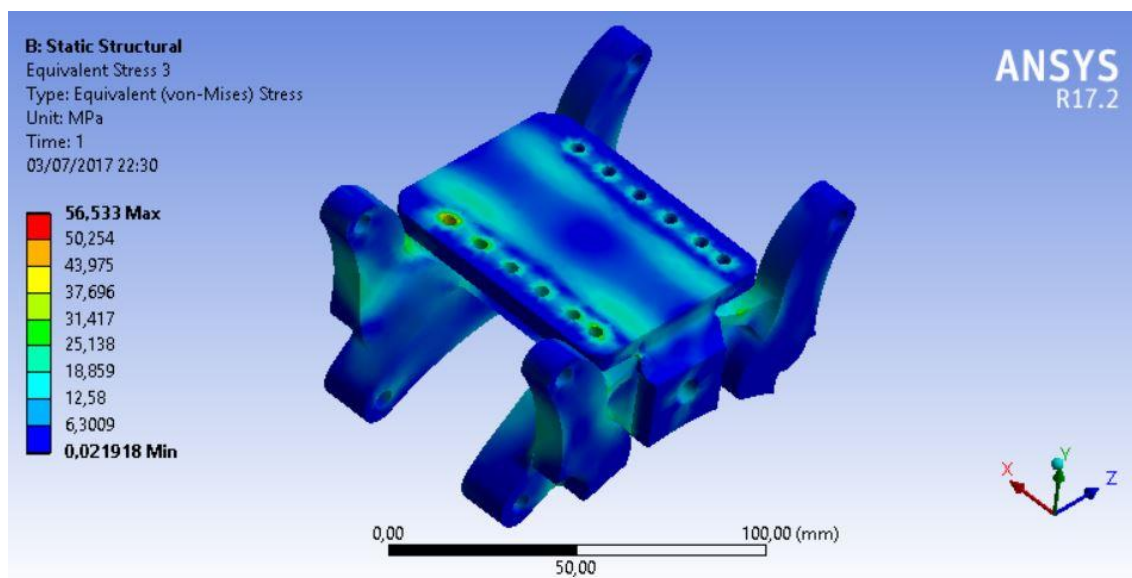


Ilustración 38. Tensiones de Von Mises en el truck

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 56,5 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 1,52.

3.3.3.1.2. Tabla

Al igual que en la hipótesis número 1 y la número 2, las tensiones máximas se producen en el mismo lugar. Aun así, las tensiones se ven reducidas respecto a la anterior hipótesis.

Las tensiones máximas son del orden de 37 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 74 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

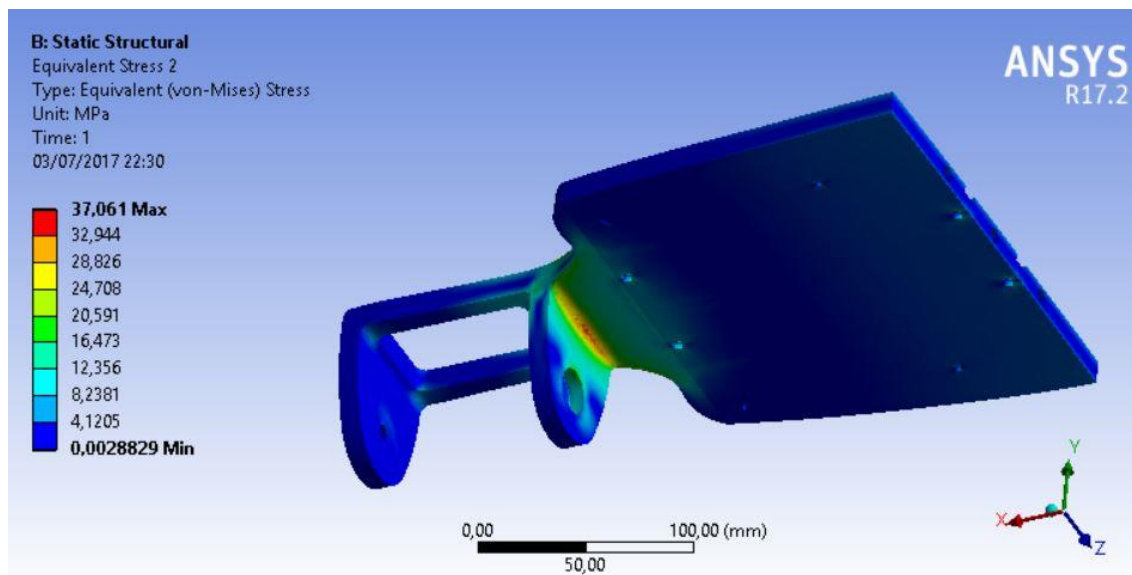


Ilustración 39. Tensiones de Von Mises en la tabla

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 37 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 2.

3.3.3.1.3. Bujes

De igual manera que en la hipótesis número 1 y la 2, las tensiones máximas se producen por el mismo lugar. En cambio, esta vez las tensiones máximas se producen en la pieza que se ve levantada los 20 mm. En este caso las tensiones se ven aumentadas de una manera considerable respecto a las anteriores hipótesis. También se puede observar como las tensiones producidas son bastante mayores a la hipótesis 2 y si no se hubiera estudiado esta alternativa, la pieza puede que hubiera fallado.

Las tensiones máximas son del orden de 71 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

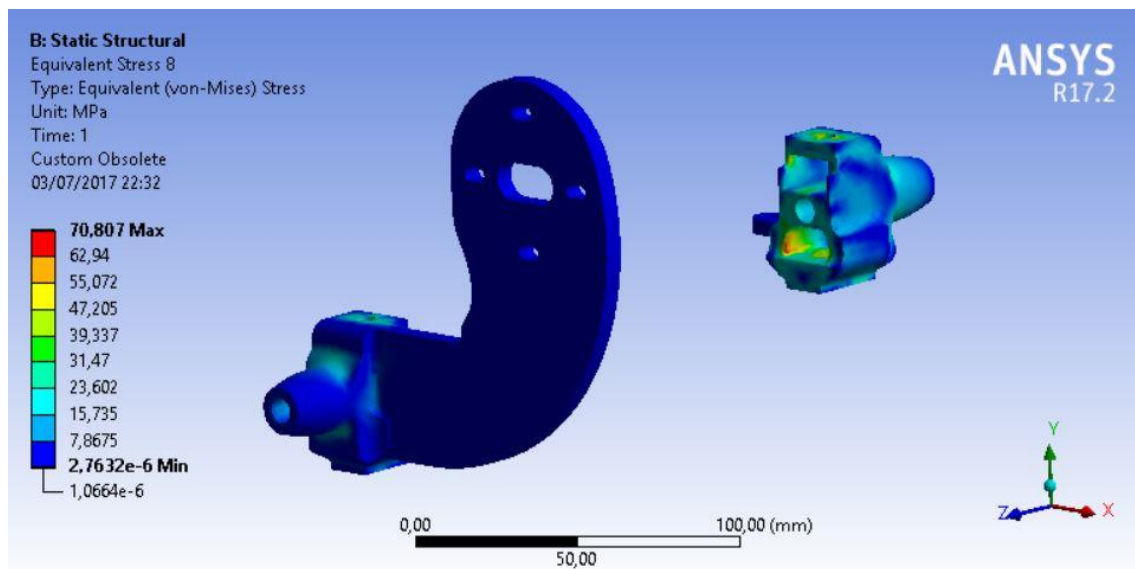


Ilustración 40. Tensiones de Von Mises en los bujes

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 27,4 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 1,2.

3.3.3.1.4. Brazos de suspensión inferior

Esta pieza se ve que bajo esta hipótesis trabaja de una manera más uniforme. Además, se puede observar como las tensiones máximas se reducen mientras que se siguen produciendo en puntos de concentración de tensiones como son los puntos de unión de los diferentes brazos.

Las tensiones máximas son del orden de 30 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

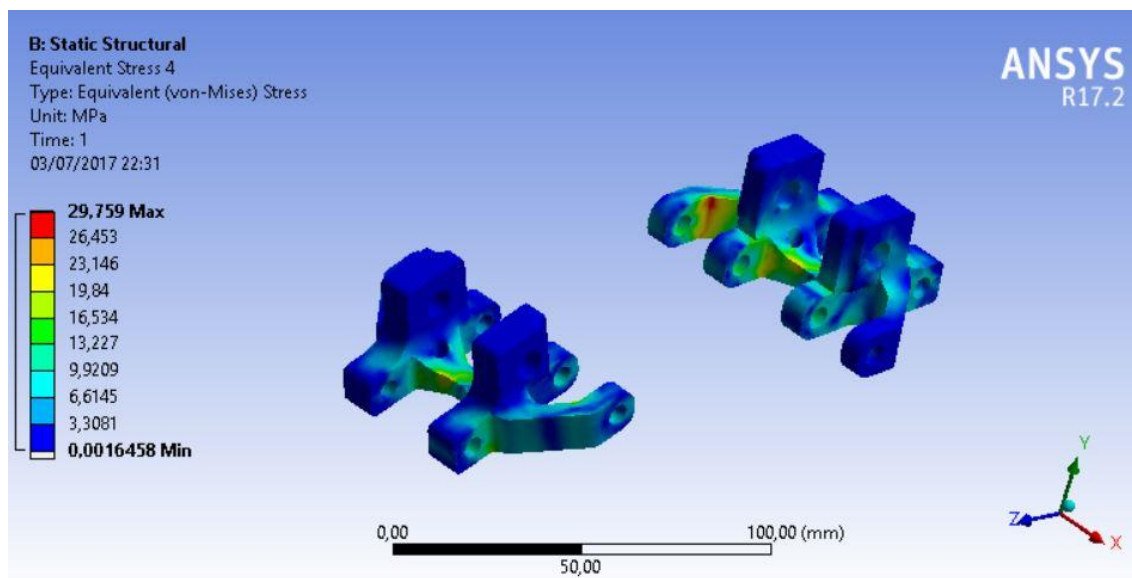


Ilustración 41. Tensiones de Von Mises en las barras inferiores del sistema de suspensión

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 30 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 2,86.

3.3.3.1.5. Brazos de suspensión superior

En el caso de esta pieza se observa como sus tensiones aumentan de manera considerable cuando se le aplica el desplazamiento a la rueda. Como se puede ver, las tensiones máximas se producen en la unión de la pieza con la pieza que va encima del buje de la rueda del longboard.

Las tensiones máximas son del orden de 36,4 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

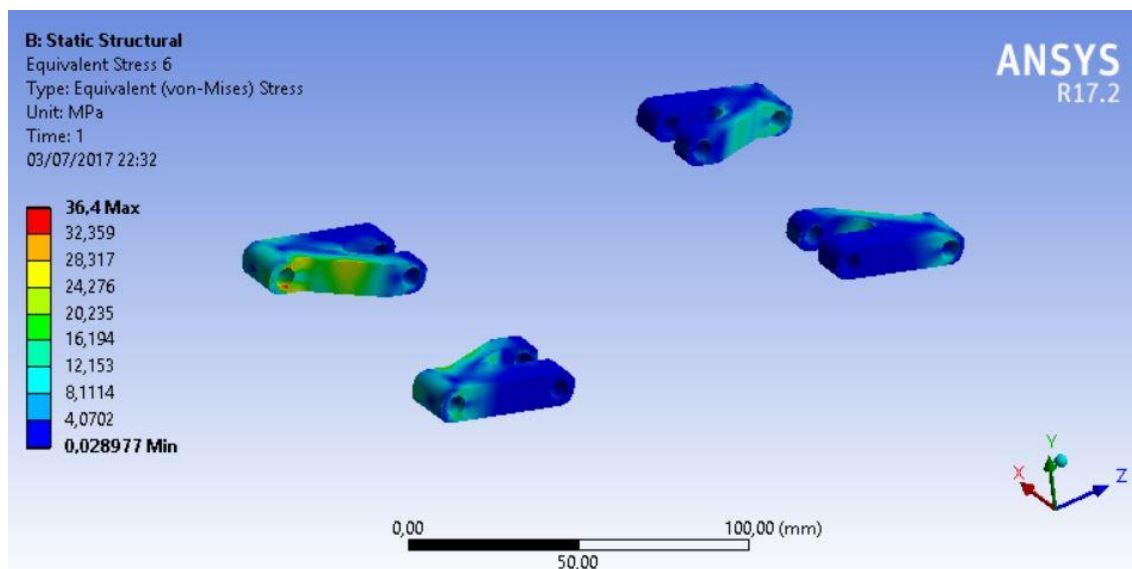


Ilustración 42. Tensiones de Von Mises en las barras superiores del sistema de suspensión

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 36,4 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 2,36.

3.3.3.1.6. Pieza inferior del buje

Estas piezas al igual que el propio buje de las ruedas son las que más sufren. En este caso las tensiones son muy parecidas entre ambas. Por otro lado, al igual que en la hipótesis anterior las tensiones máximas se producen en la unión atornillada de esta con el buje. Cabe destacar que las tensiones máximas se producen en la pieza que es levantada los 20 milímetros. También se puede observar como las tensiones producidas son bastante mayores a la hipótesis 2 y si no se hubiera estudiado esta alternativa, la pieza puede que hubiera fallado.

Las tensiones máximas son del orden de 67,43 MPa, estando aún lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

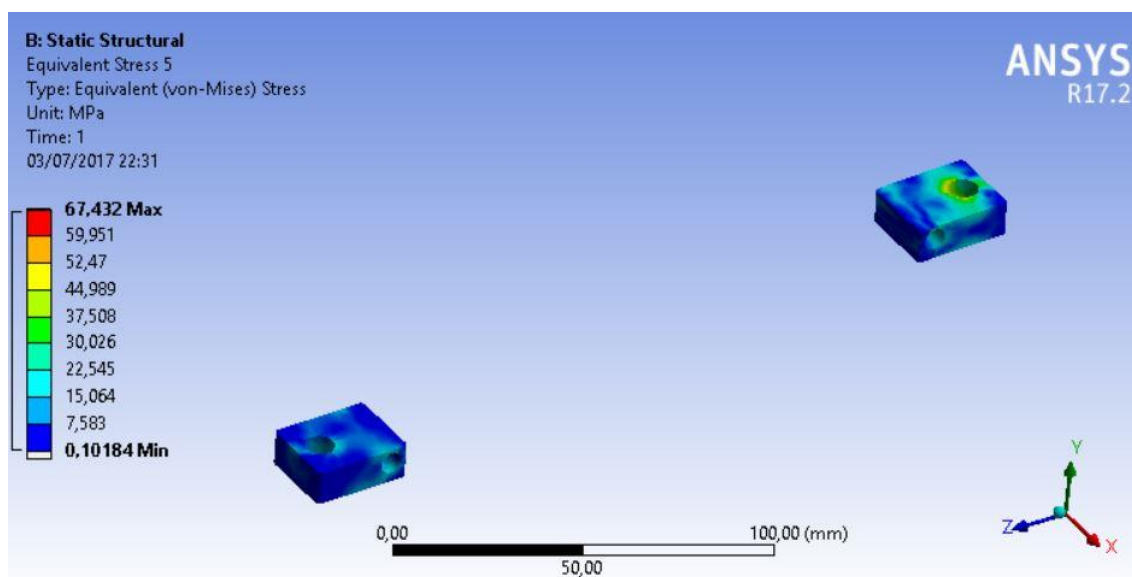


Ilustración 43. Tensiones de Von Mises en las piezas inferiores del buje

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 67,43 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 1,27.

3.3.3.1.7. Pieza superior del buje

En cuanto a las piezas que se colocan en la parte superior del buje se puede ver que le ocurre de igual manera que a los brazos superiores. Las tensiones máximas se producen en las piezas que se levantan esos 20 milímetros. También se producen estas tensiones en el punto de unión de estas piezas con el buje de las ruedas. Todo ello de manera similar que en la hipótesis 2.

Las tensiones máximas son del orden de 30 MPa, estando muy lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

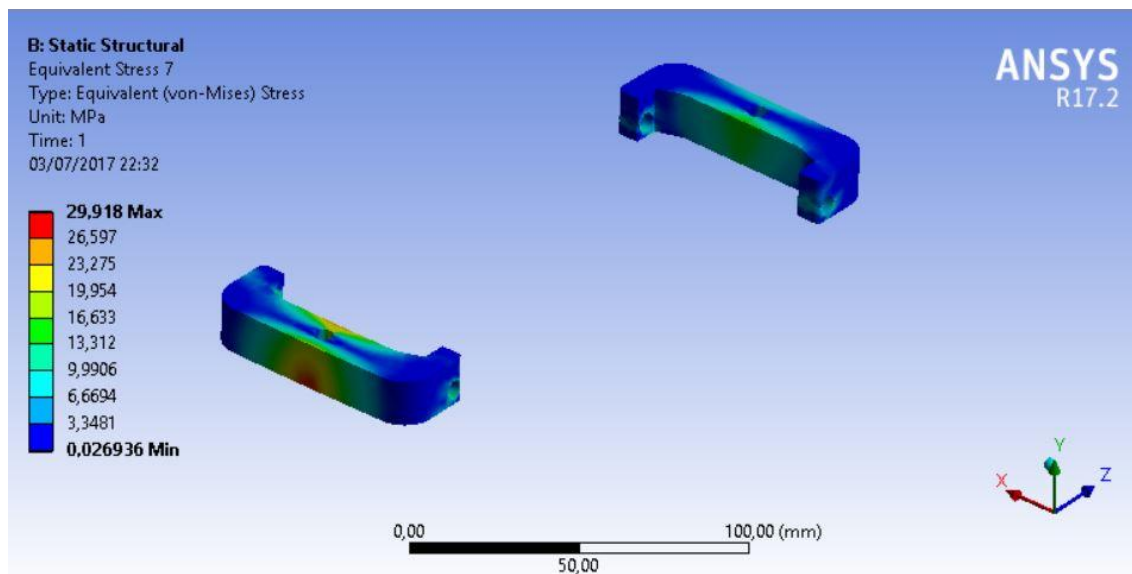


Ilustración 44. Tensiones de Von Mises en las piezas superiores del buje

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 30 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 2,86.

3.3.3.1.8. Soporte de la suspensión

Al igual que en la hipótesis 2 las tensiones máximas principales se producen en la parte inferior de la pieza, justamente en la unión de la base y los brazos de la suspensión. Aunque se produce una gran concentración de tensiones, el material es capaz de aguantar la carga a la que es sometida.

Las tensiones máximas son del orden de 55,58 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 86 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

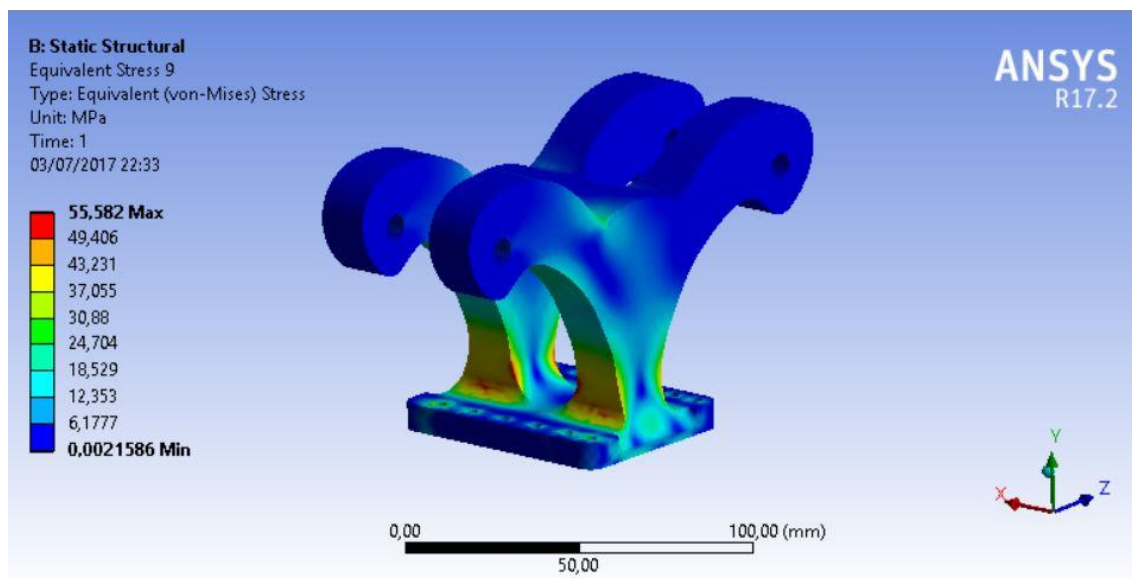


Ilustración 45. Tensiones de Von Mises en el soporte de los amortiguadores

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 55,58 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 1,54.

3.4. Estudio de la rigidez de la tabla 1

3.4.1. Introducción

En esta cuarta hipótesis se busca estudiar la deformación de la tabla en su punto máximo. Esta hipótesis no está dentro de ninguna normativa. Esta hipótesis es importante estudiarlo debido a que si la deformación es excesiva la pieza puede llegar a romperse o hacer que rocen las cajas de los componentes electrónicos con el suelo. Por ello este estudio es muy importante

3.4.2. Modelización

En este punto se tratarán los detalles más específicos de cada simulación, debido que los datos más generales fueron expuestos en su punto correspondiente a la simulación en la memoria.

3.4.2.1. Cargas

Las cargas aplicadas en esta hipótesis son las siguientes:

- A: Las uniones con los brazos inferiores actúan como si estuvieran empotrados debido a que este estudio se centra en la deformación de la tabla, no en el resto de los componentes.
- B: Fuerza de 500N aplicada a la parte superior de la tabla.
- C: Fuerza de 500N aplicada a la parte superior de la tabla.

En la siguiente ilustración se muestran las condiciones de contorno aplicadas en esta hipótesis.

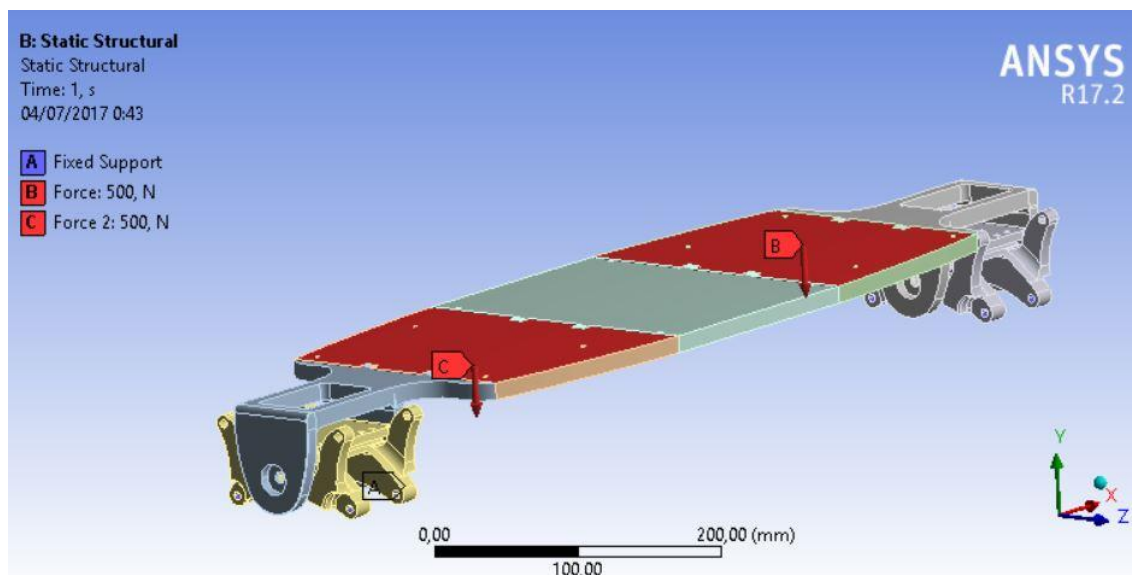


Ilustración 46. Condiciones de contorno

3.4.3. Resultados

Una vez incorporadas las condiciones de contorno y mallado el modelo se procede a realizar la simulación del mismo.

3.4.3.1. Tabla

Este aparato el proyecto se basa en el estudio de las tensiones y deformaciones generadas en la simulación de elementos finitos de la tabla.

Para ello primero se estudiarán las tensiones producidas y justo después la deformación obtenida.

3.4.3.1.1. Tensiones de Von Mises

Como se puede observar las tensiones producidas no varían prácticamente en nada con las encontradas en las hipótesis anteriores. Esto es debido a que las cargas son las mismas y las simplificaciones que se realizaron se ve que son correctas. También se ve que las tensiones máximas se producen en la misma zona que en las hipótesis anteriores.

Las tensiones máximas son del orden de 30,45 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 74 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

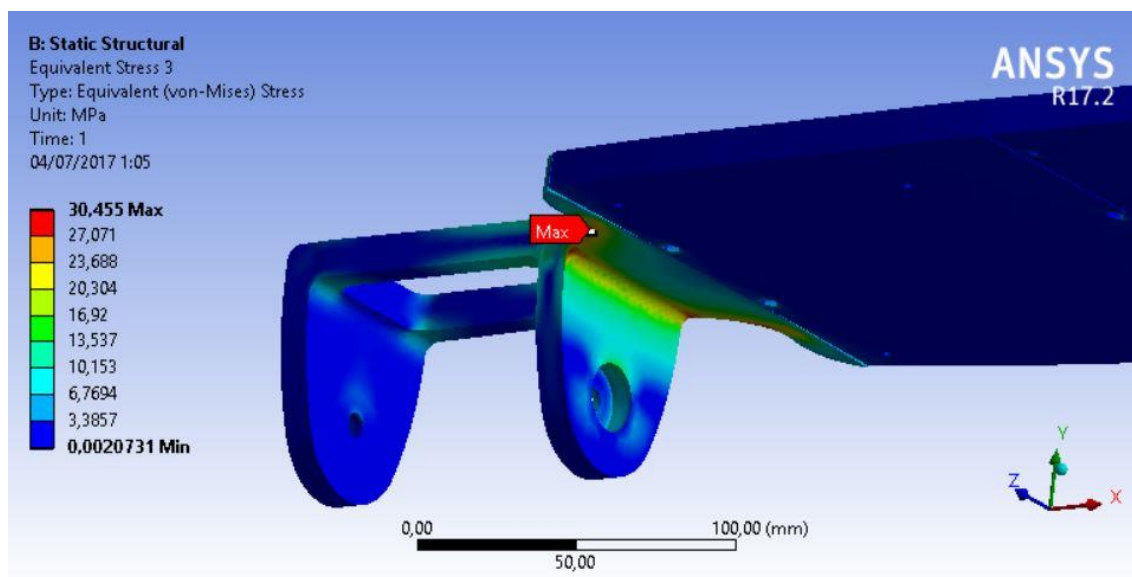


Ilustración 47. Tensiones de Von Mises en la tabla

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 30,45 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 2,43.

3.4.3.1.2. Deformación

Como se puede observar la deformación máxima de la tabla son 8 milímetros. Este punto máximo se encuentra en el punto central de la tabla.

En la siguiente ilustración se muestra el valor de las deformaciones resultantes.

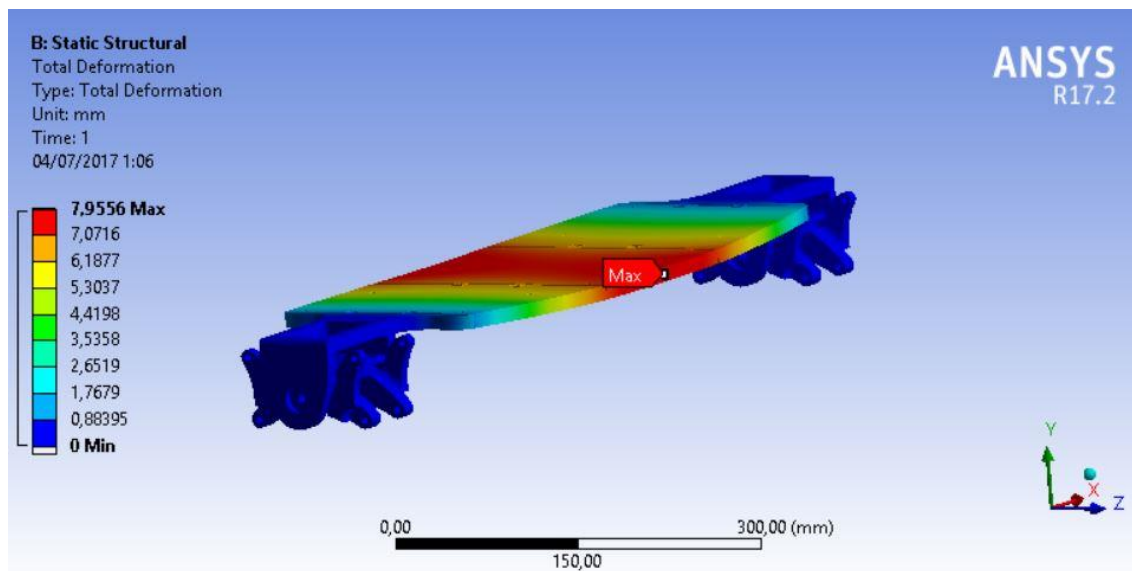


Ilustración 48. Deformaciones en la tabla

Este resultado es positivo, ya que cuando el usuario este encima de la tabla, esta ni romperá ni rozará con las cajas de las baterías en el suelo.

3.5. Estudio de la rigidez de la tabla 2

3.5.1. Introducción

En esta quinta hipótesis se busca estudiar la deformación de la tabla y sus tensiones cuando una persona empieza a utilizar el patinete. Esta hipótesis no está dentro de ninguna normativa. Esta hipótesis es importante estudiarla debido a que siempre se va a montar el usuario poniendo un pie primero en la tabla, generando así una mayor concentración de tensiones en la tabla y los elementos. Por otro lado, al igual que en la hipótesis anterior si la deformación es excesiva la pieza puede llegar a romperse o hacer que rocen las cajas de los componentes electrónicos con el suelo.

3.5.2. Modelización

En este punto se tratarán los detalles más específicos de cada simulación, debido que los datos más generales fueron expuestos en su punto correspondiente a la simulación en la memoria.

3.5.2.1. Cargas

Las cargas aplicadas en esta hipótesis son las siguientes:

- A: Las uniones con los brazos inferiores actúan como si estuvieran empotrados debido a que este estudio se centra en la deformación de la tabla, no en el resto de los componentes.
- C: Fuerza de 1000N aplicada a la parte superior de la tabla.

En la siguiente ilustración se muestran las condiciones de contorno aplicadas en esta hipótesis.

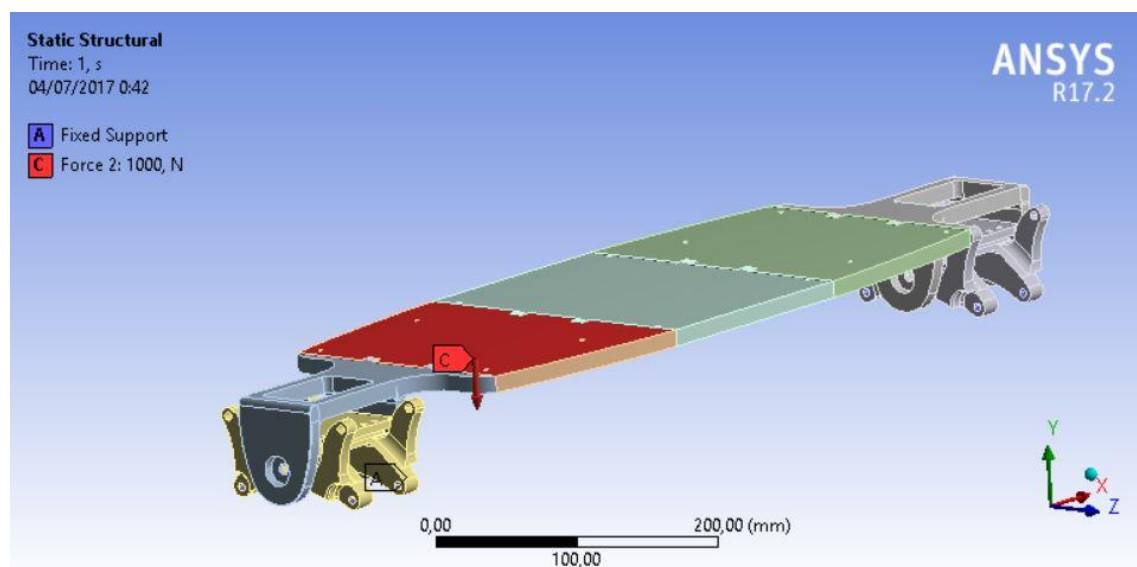


Ilustración 49. Condiciones de contorno

3.5.3. Resultados

Una vez incorporadas las condiciones de contorno y mallado el modelo se procede a realizar la simulación del mismo.

3.5.3.1. Tabla

Este aparato el proyecto se basa en el estudio de las tensiones y deformaciones generadas en la simulación de elementos finitos de la tabla.

Para ello primero se estudiarán las tensiones producidas y justo después la deformación obtenida.

3.5.3.1.1. Tensiones

Como se puede observar las tensiones producidas aumentan un poco respecto las encontradas en las hipótesis anteriores. Esto es debido a que la carga aumentó hasta los 1000 N. También se ve que las tensiones máximas se producen en la misma zona que en las hipótesis anteriores.

Las tensiones máximas son del orden de 41,87 MPa, estando bastante lejos del máximo teórico de 74 que es capaz de resistir el material utilizado en esta pieza.

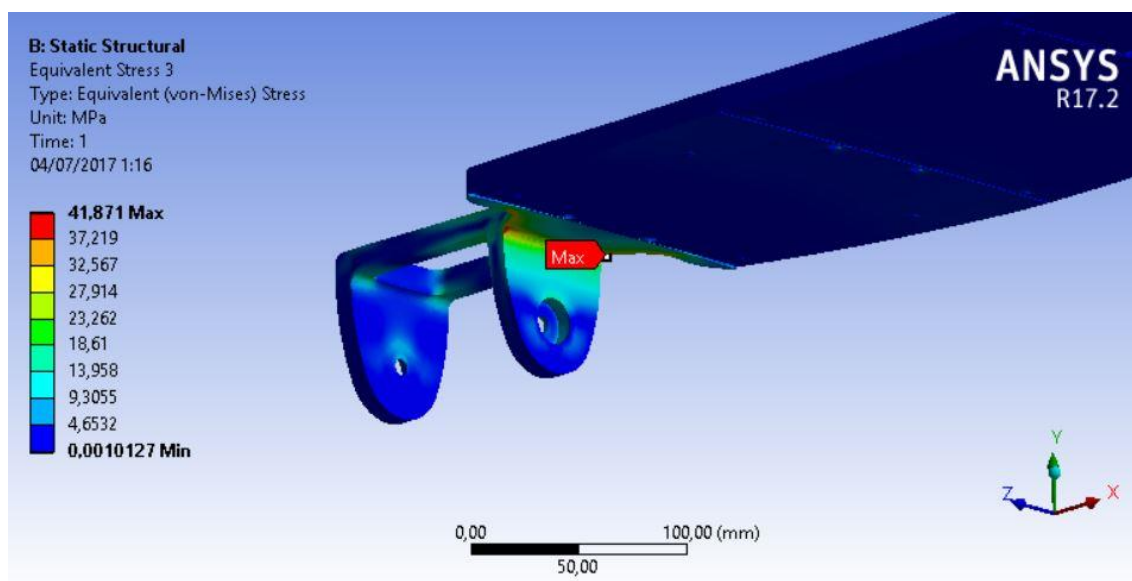


Ilustración 50. Tensiones de Von Mises en la tabla

Teniendo en cuenta que las tensiones máximas producidas son del orden de 41.87 MPa se puede concluir que la pieza soportará sin romperse teniendo un coeficiente de seguridad de 1,77.

3.5.3.1.2. Deformación

Como se puede observar la deformación máxima de la tabla son 8,7 milímetros. Este punto máximo se encuentra en un punto cercano al centro de la tabla.

En la siguiente ilustración se muestra el valor de las deformaciones resultantes.

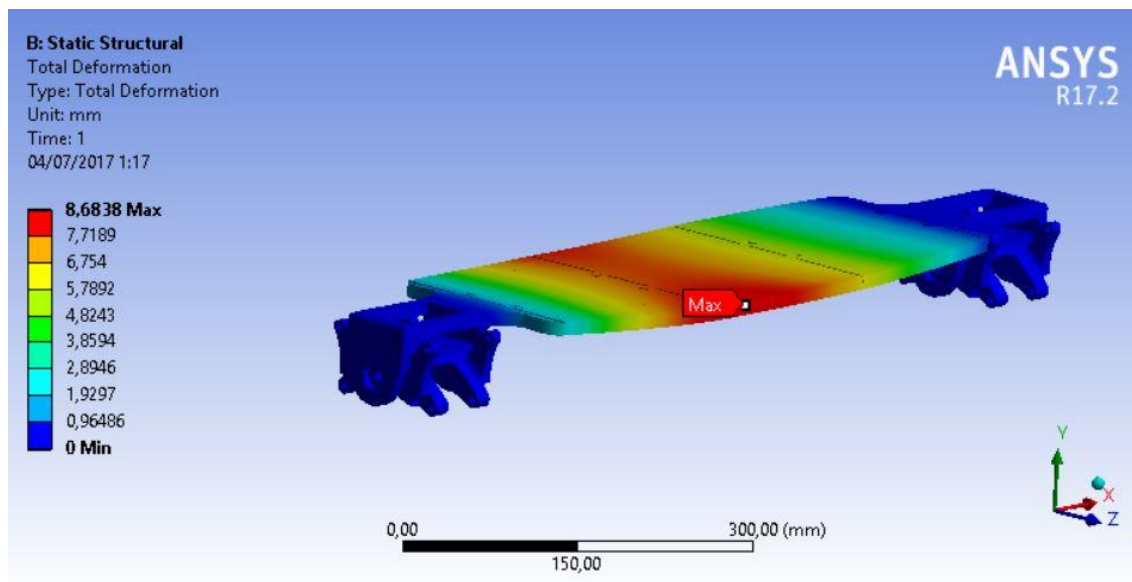


Ilustración 51. Deformaciones de Von Mises en la tabla

Al igual que en la hipótesis anterior el resultado es positivo, ya que cuando el usuario este encima de la tabla, esta ni romperá ni rozará con las cajas de las baterías en el suelo.

Pliego de condiciones

Longboard eléctrico fabricado mediante impresión en 3D

2017



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

Marco Antonio Benito Martin

Firma el presente documento:
Marco Antonio Benito Martin
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Logroño, 05 de julio de 2017

Pliego de condiciones

Índice

1. Objeto.....	3
2. Descripción del producto	3
3. Especificaciones técnicas de los materiales	3
3.1 Calidades mínimas a exigir	3
3.1.1 ASA.....	4
3.1.2 PETG	4
3.1.3Nylon	4
3.2 Ensayos sobre el producto terminado	5
3.2.1 Ensayos según la norma UNE-EN 13613:2010	5

1. Objeto

El presente Pliego de Condiciones tiene la finalidad de establecer las condiciones técnicas bajo las cuales se llevará a cabo la fabricación del longboard descrito en este proyecto.

Del cumplimiento de las siguientes condiciones dependerá la calidad del producto final, el cual, siendo una herramienta dedicada al transporte de personas, puede tener efectos directos sobre la salud del deportista.

A continuación, se desarrollan estas exigencias atendiendo por un lado a las calidades de los materiales empleados en la fabricación para la obtención del producto final.

2. Descripción del producto

El presente proyecto desarrolla el diseño, optimización, simulación y fabricación de un longboard impreso en 3D. La memoria describe en profundidad el proceso de diseño hasta obtener un modelo que cumpliera todos los requisitos establecidos.

Los materiales a utilizar son los siguientes.

- PLA
- ASA
- PETG + CF
- Nylon + CF

3. Especificaciones técnicas de los materiales

A continuación, se recogen las especificaciones y/o normas que deben cumplir los materiales

empleados en la fabricación del longboard, así como los ensayos que se deberán realizar para comprobar su validez.

3.1 Calidades mínimas a exigir

Con el fin de asegurar su comportamiento, los valores de tensión del material real seleccionado para la fabricación no deberán ser inferiores a los citados en las tablas de los plásticos descritos en los siguientes puntos.

Para comprobar la validez de las especificaciones ofrecidas por el fabricante de los filamentos de plástico se debe someter a los ensayos de la siguiente norma.

- UNE-EN ISO 527-1:2012: Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: Principios generales.
- UNE-EN ISO 527-2:2012: Determinación de las propiedades en tracción. Parte 2: Condiciones de ensayo de plásticos para moldeo y extrusión.

3.1.1 ASA

El principal material presente en la tabla del longboard. Este material constituirá la parte central formada por las tres tablas impresas en 3D.

El diseño se ha analizado estructuralmente mediante herramientas informáticas de simulación con las siguientes propiedades:

- Densidad: 1,11 Kg/dm³
- Tensión última: 52,6 Mpa
- Módulo de Young (Dirección favorable): 1685 Mpa
- Módulo de Young (Dirección desfavorable): 1280 Mpa
- Módulo de cortadura (Dirección favorable): 758 Mpa
- Módulo de cortadura (Dirección desfavorable): 576 Mpa
- Coeficiente de Poisson: 0,42

3.1.2 PETG

En cuanto a este material, su utilización es únicamente en los extremos de la tabla, el cual es un lugar en el que se necesita una mayor rigidez y resistencia mecánica.

El diseño se ha analizado estructuralmente mediante herramientas informáticas de simulación con las siguientes propiedades:

- Densidad: 1,11 Kg/dm³
- Tensión última: 74,4 Mpa
- Módulo de Young (Dirección favorable): 4500 Mpa
- Módulo de Young (Dirección desfavorable): 3600 Mpa
- Módulo de cortadura (Dirección favorable): 2025 Mpa
- Módulo de cortadura (Dirección desfavorable): 1620 Mpa
- Coeficiente de Poisson: 0,42

3.1.3 Nylon

Por último, el nylon reforzado con fibra de carbono ha sido utilizado en el resto de piezas a excepción de las cajas que se realizan con PLA.

El diseño se ha analizado estructuralmente mediante herramientas informáticas de simulación con las siguientes propiedades:

- Densidad: 1,07 Kg/dm³
- Tensión última: 86,4 Mpa
- Módulo de Young (Dirección favorable): 4000 Mpa
- Módulo de Young (Dirección desfavorable): 3200 Mpa
- Módulo de cortadura (Dirección favorable): 1800 Mpa
- Módulo de cortadura (Dirección desfavorable): 1440 Mpa
- Coeficiente de Poisson: 0,42

3.2 Ensayos sobre el producto terminado

Además de asegurar la calidad de las materias primas empleadas en la fabricación del producto, se deberá someter el longboard a una serie de ensayos específicos que aseguren un buen comportamiento, análogo al obtenido mediante la simulación informática de su diseño

desarrollada en el presente proyecto.

Los ensayos descritos a continuación deberán realizarse sobre el producto totalmente

Terminado.

3.2.1 Ensayos según la norma UNE-EN 13613:2010

Esta norma (UNE-EN 13613:2010: Equipo para deportes sobre ruedas. Monopatines. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo) presenta cinco ensayos a realizar en muestras aleatorias de la producción.

3.2.1.1 Ensayo de resistencia 1

Este ensayo se fundamenta en la simulación de la primera hipótesis de carga.

Para realizarlo hay que seguir el siguiente procedimiento:

- Colocar el patinete fijado a una mesa de ensayo plana.
- Colocar en los extremos de las tablas (donde pone los pies el usuario) un peso de 40 kilogramos en cada uno.
- Comprobar que no haya ninguna rotura, ni aflojamiento de ninguna tuerca.

3.2.1.2 Ensayo de resistencia 2

En el ensayo de resistencia número 2 del cual se basa la hipótesis de carga número dos es el siguiente.

Para realizarlo hay que seguir el siguiente procedimiento:

- Colocar un extremo de la tabla del patinete en unas mordazas para simular un empotramiento.
- Colocar las ruedas encima de un tambor giratorio.
 - El tambor giratorio de girar a una velocidad de 0,5 m/s
 - Tener un diámetro de al menos 70 centímetros
 - Los baches deben ser intercalados entre una rueda y otra
 - Estos baches deben tener una altura máxima de 20 milímetros y tener una pendiente inicial de 45 grados
- Colocar un peso de 20 Kilogramos encima del truck del monopatín
- Hacer girar al tambor
- Comprobar de que ninguna pieza se rompa ni se afloje ninguna tuerca.

3.2.1.3 Ensayo de adherencia

En el ensayo de adherencia se busca determinar si las ruedas están correctamente fabricadas y si son seguras para su uso en la vida cotidiana.

Para ello hay que seguir el siguiente procedimiento:

- Se coloca el patinete encima de una lámina de acero con una superficie pulida y desengrasada con una rugosidad media de 1,55 a 2 micrómetros.
- Se colocan dos lastres de 20 kilogramos en cada extremo de la tabla.
- Aplicar una fuerza de manera perpendicular hasta que se produzca el desplazamiento (Esta fuerza debe ser medida)
- Aplicar la siguiente fórmula para calcular su adherencia:

$$\mu_0 = \frac{F}{(40 + m) \times g}$$

Siendo:

- m: La masa del patinete
- F: fuerza aplicada
- G: Gravedad

3.2.1.4 Ensayo de caída

En el ensayo de caída se busca determinar si un skate está preparado para su uso más extremo.

Para ello hay que seguir el siguiente procedimiento:

- Colocar un extremo del patinete encima de un tubo guía con una altura de 300 milímetros desde la parte superior de la tabla.
- Colocar encima del tubo un lastre cilíndrico de 20 kilogramos de peso y 100 milímetros de diámetro.
- En la parte inferior del lastre debe tener una plancha de goma de dureza 70 Shore A de 17 milímetros de espesor.
- Dejar caer el peso tres veces en el centro del patinete, después 3 veces en el área central de un eje y por último 3 veces en el área central del otro eje.
- Comprobar de que no haya ninguna pieza rota ni suelta del skate

3.2.1.5 Ensayo de choque

El ensayo de choque busca comprobar cuales son las capacidades de absorción de impactos del skate.

Para ello hay que seguir el siguiente procedimiento:

- Acelerar el patinete hasta una velocidad de 18 Km/h
- Hacerlo golpear un bordillo.
 - Este bordillo no debe golpear la tabla
 - El choque debe ser frontal con las ruedas delanteras
- Comprobar los daños y las piezas que hayan sido aflojadas.

Planos

Longboard eléctrico fabricado mediante impresión en 3D

2017



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

Marco Antonio Benito Martin

Firma el presente documento:
Marco Antonio Benito Martin
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Logroño, 05 de julio de 2017

Planos

Índice

1. Introducción	3
2. Tabla 1	4
3. Tabla 2	5
4. Tabla 3	6
5. Truck	7
6. Rueda	8
7. Pieza superior del buje	9
8. Pieza inferior del buje	10
9. Brazo superior de la suspensión	11
10. Brazo inferior de la suspensión	12
11. Pieza 1 de la dirección	13
12. Pieza 2 de la dirección	14
13. Pieza 3 de la dirección	15
14. Pieza 4 de la dirección	16
15. Pieza 5 de la dirección	17
16. Soporte de la suspensión	18
17. Buje	19
18. Soporte motor	20

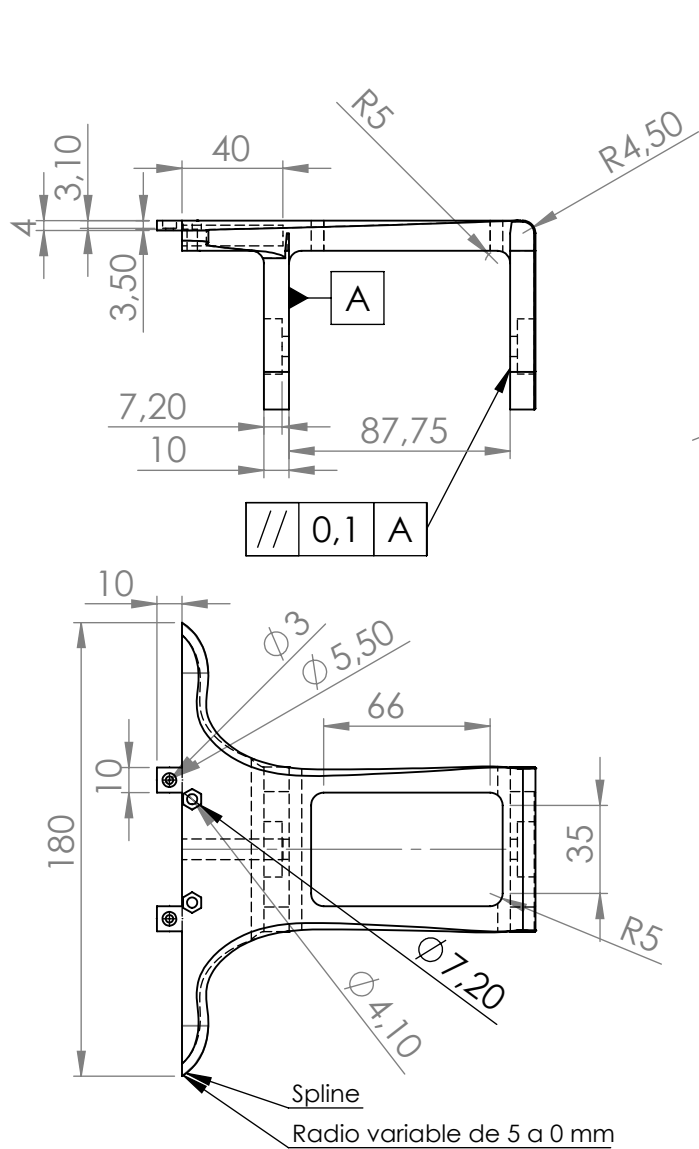
1. Introducción

En este apartado se van a mostrar los planos de las piezas del longboard eléctrico. Cabe destacar que estos planos son meramente ilustrativos de cómo van a ser las piezas. No son planos de fabricación ni de verificación ante cualquier instancia legal.

Estas piezas fueron diseñadas para fabricación única y exclusiva mediante impresión 3D la cual solo necesita de los archivos 3D y código máquina generado a partir del software.

Las piezas contienen curvas 3D y curvas spline cuya función era la de reducir al máximo sus tensiones debido al poco margen que se tuvo con los materiales estudiados.

Cabe destacar que todas las piezas serán distribuidas mediante licencia creative commons y estarán disponibles, una vez este proyecto esté terminado y aprobado por parte del tribunal, en la página de intercambio de diseños gratuitos Thingiverse.com con el nombre "3D printed electric longboard (La Rioja University final Project)"



	Fecha	Nombre
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito
Comprobado		
Id.s Normas		Tolerancia general

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

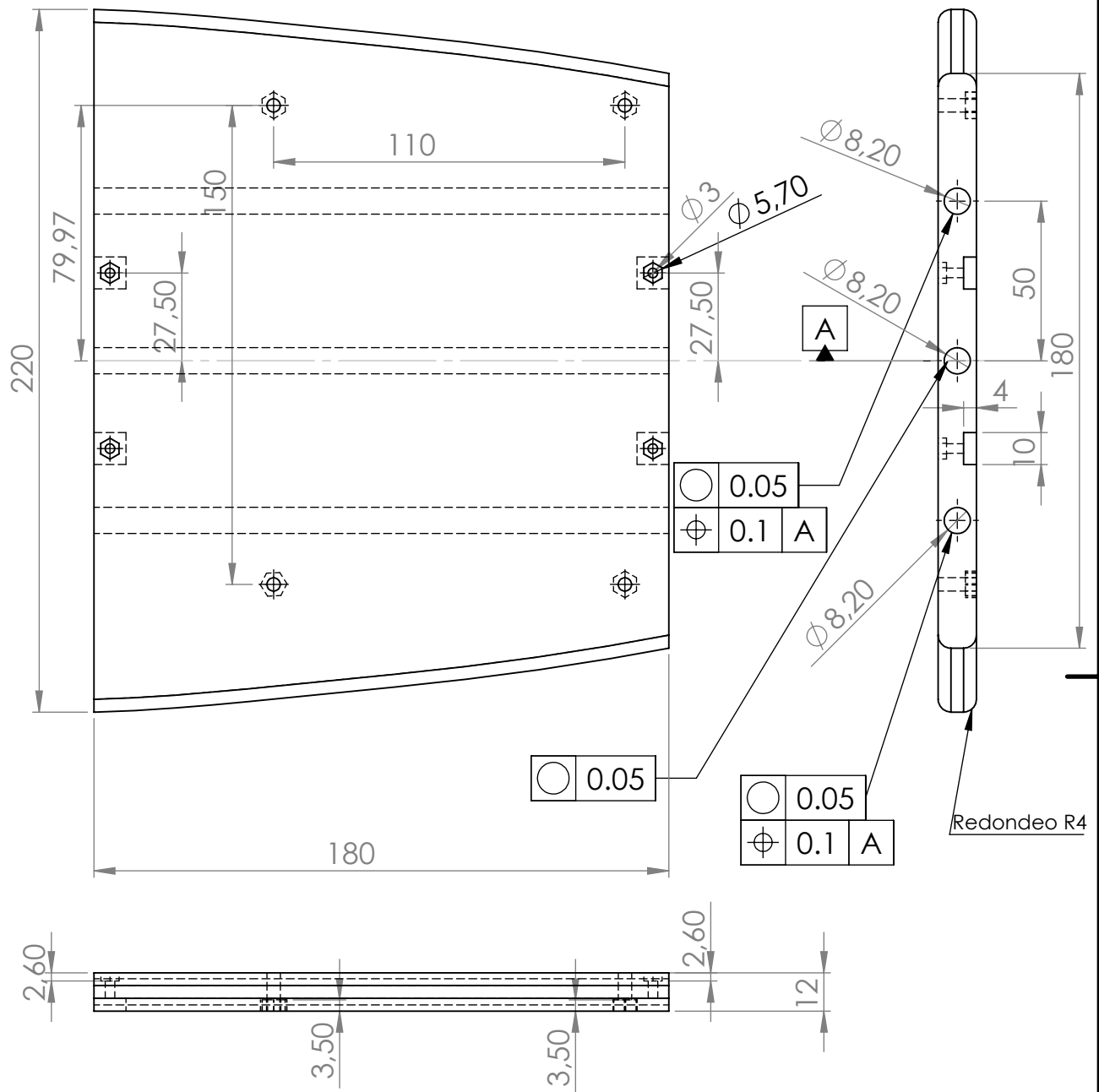
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Grado en Ingeniería Mecánica



ESCALAS	Longboard impreso en 3D	Número	001
1:3		REFERENCIA	
CAJID.		Sustituye a	
Proyección		Sustituye por	

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

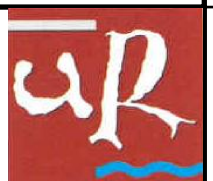


	Fecha	Nombre
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito
Comprobado		
Id.s Normas		Tolerancia general

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

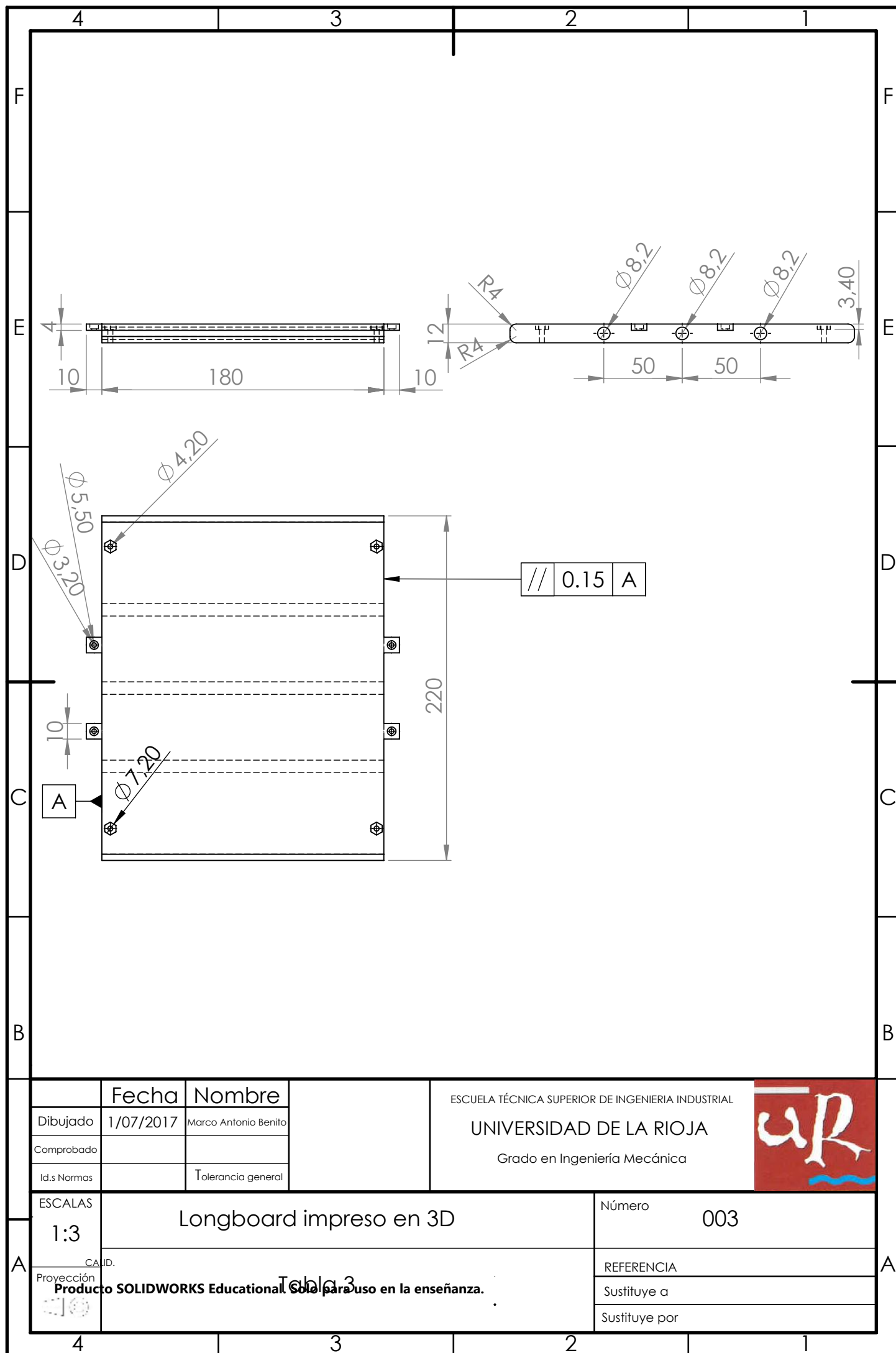
Grado en Ingeniería Mecánica



ESCALAS	Longboard impreso en 3D	Número
1:3		002
CAJID.		REFERENCIA
Proyección		Sustituye a
		Sustituye por

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Tabla 2



	Fecha	Nombre
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito
Comprobado		
Id.s Normas		Tolerancia general

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
 Grado en Ingeniería Mecánica



ESCALAS	Longboard impreso en 3D	Número	003
1:3		REFERENCIA	
CAJID.		Sustituye a	
Proyección		Sustituye por	

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Tabla 3

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

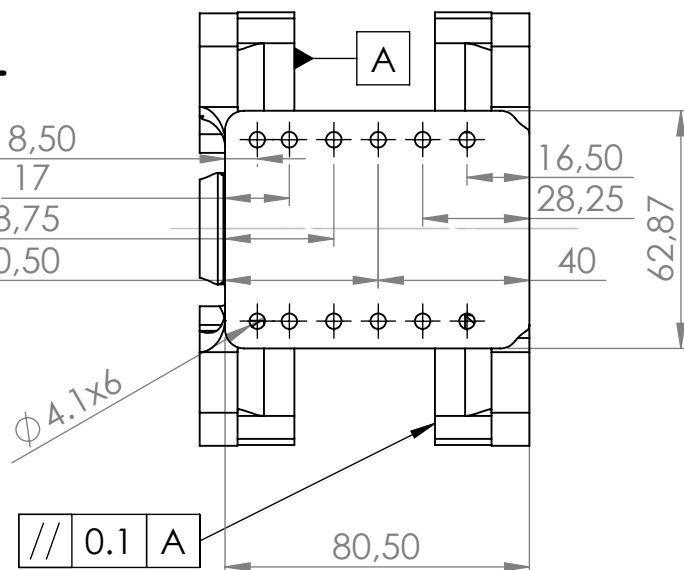
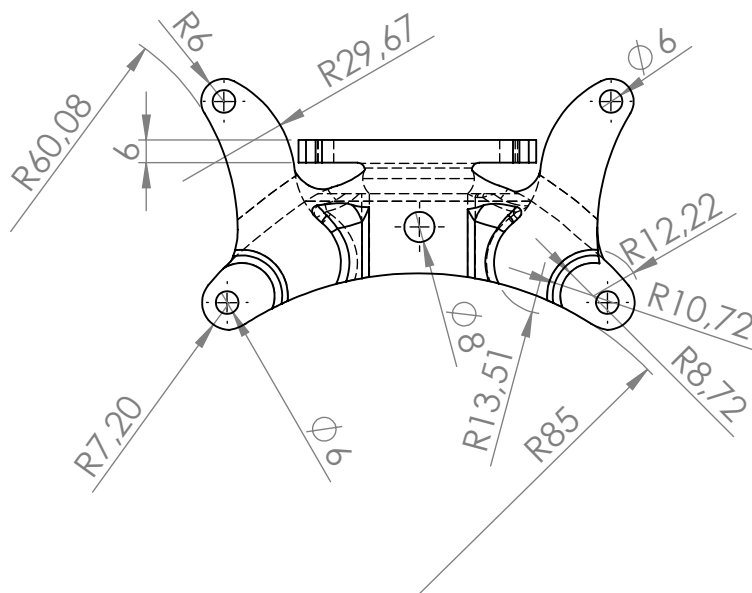
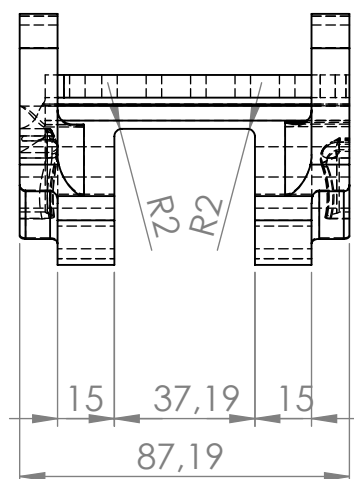
C

B

B

A

A



	Fecha	Nombre
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito
Comprobado		
Id.s Normas		Tolerancia general

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Grado en Ingeniería Mecánica



ESCALAS

1:2

Longboard impreso en 3D

Número

004

CAJID.

Proyección

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

REFERENCIA

Sustituye a

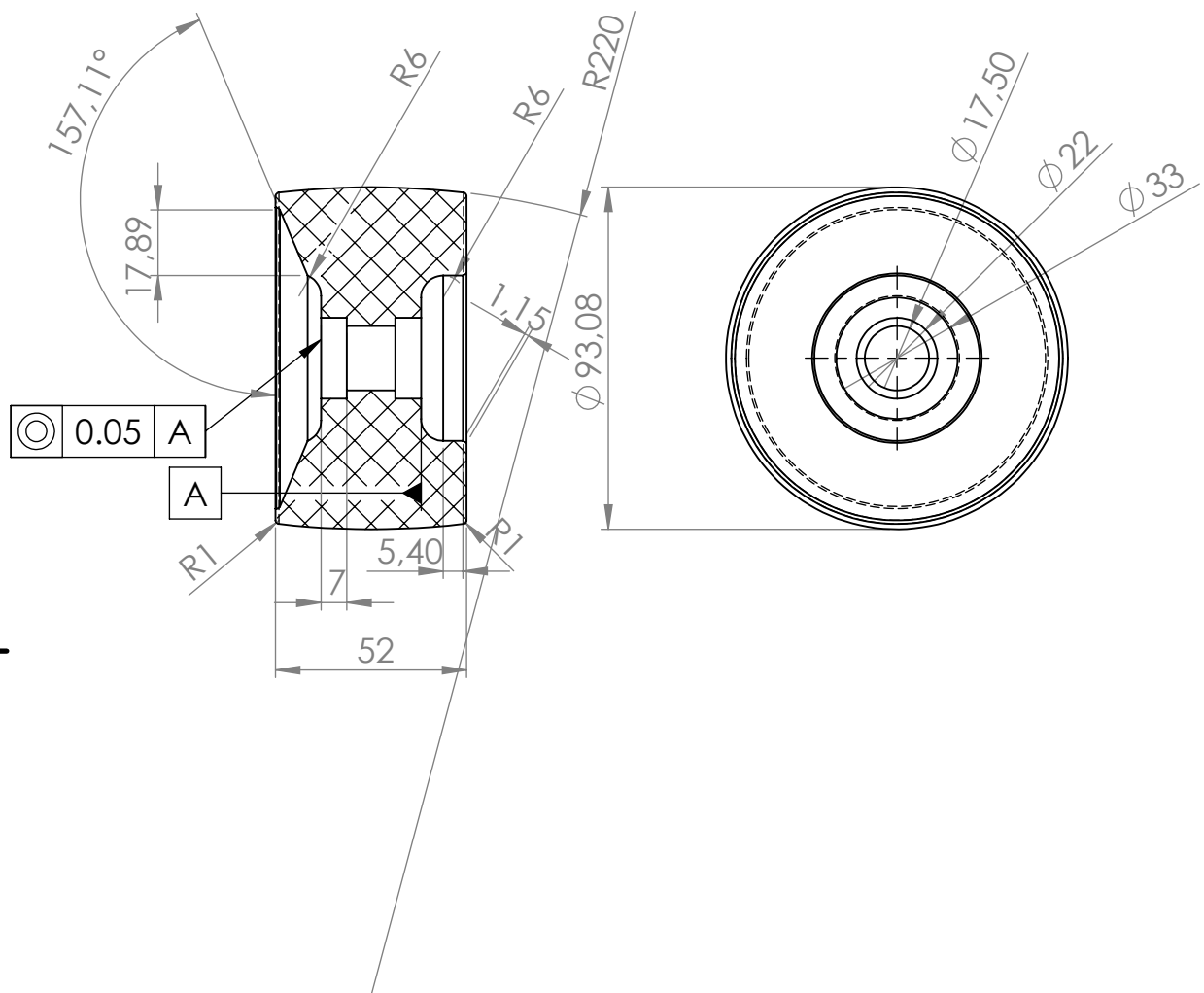
Sustituye por

4

3

2

1



	Fecha	Nombre
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito
Comprobado		
Id.s Normas		Tolerancia general

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

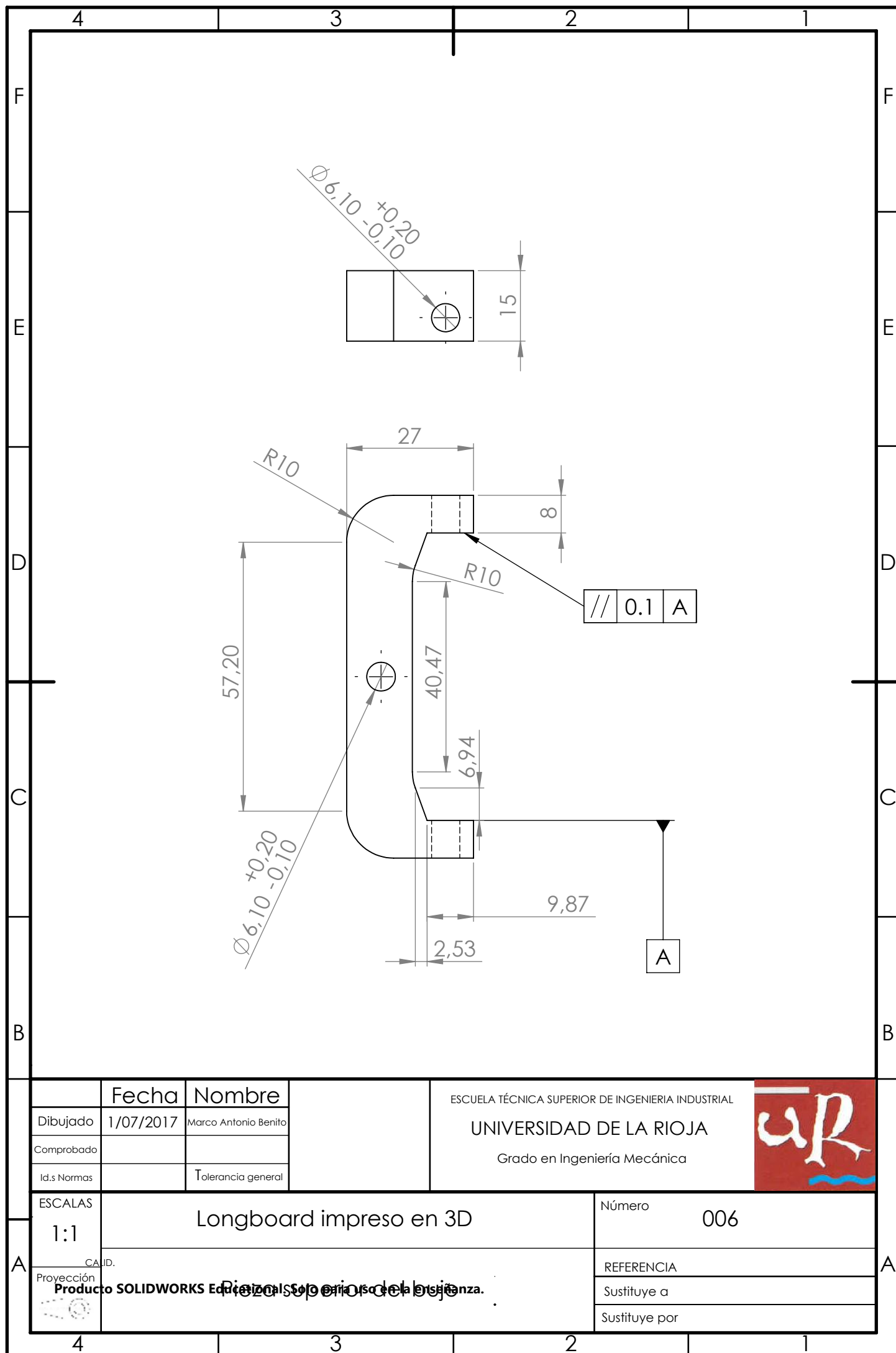
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Grado en Ingeniería Mecánica



ESCALAS	Longboard impreso en 3D	Número	005
1:2		REFERENCIA	
CAJID.		Sustituye a	
Proyección		Sustituye por	

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



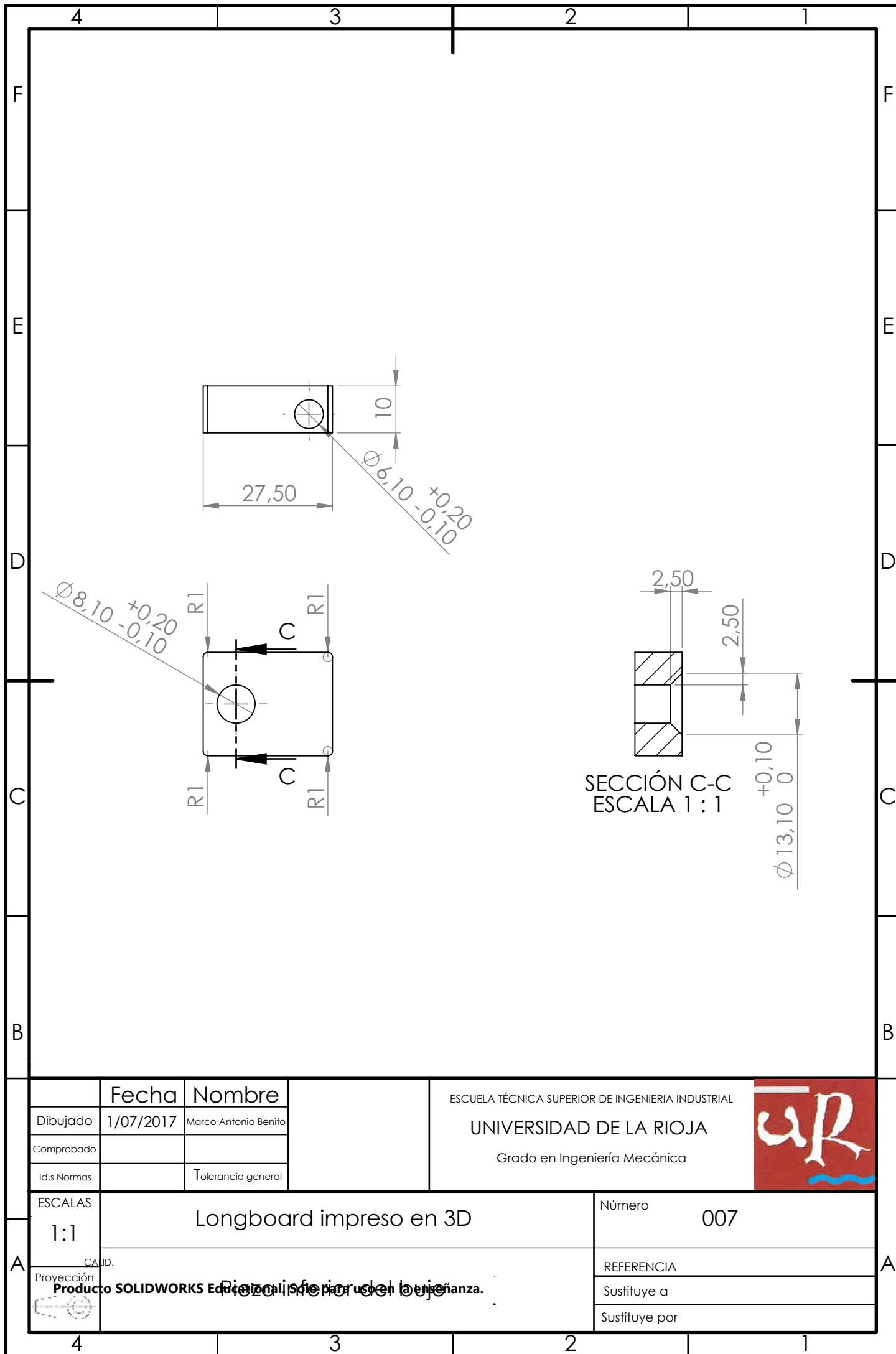
	Fecha	Nombre
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito
Comprobado		
Id.s Normas		Tolerancia general

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
 Grado en Ingeniería Mecánica



ESCALAS	Longboard impreso en 3D	Número	006
1:1			
CA.D.		REFERENCIA	
Proyección		Sustituye a	
		Sustituye por	

Producto **SOLIDWORKS** Edición 2015. Diseñado en **3D** por el autor. No se permite la reproducción.



	Fecha	Nombre
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito
Comprobado		
Id.s Normas		Tolerancia general

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA INDUSTRIAL

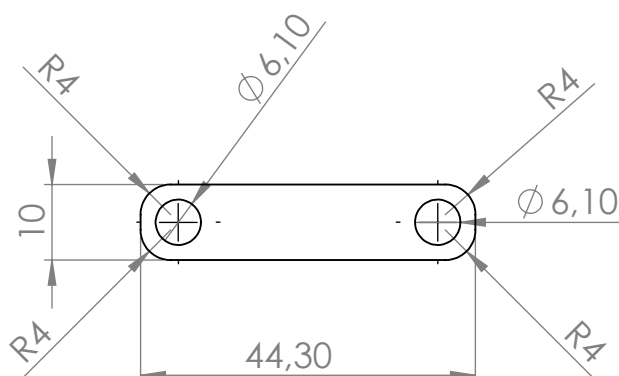
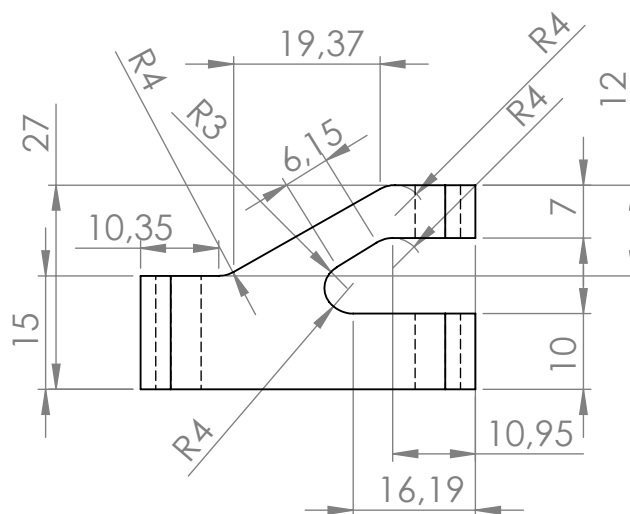
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

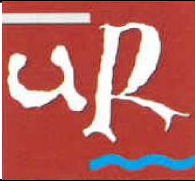
Grado en Ingeniería Mecánica



ESCALAS	Longboard impreso en 3D	Número	007
1:1		REFERENCIA	
CAJID.		Sustituye a	
Proyección		Sustituye por	

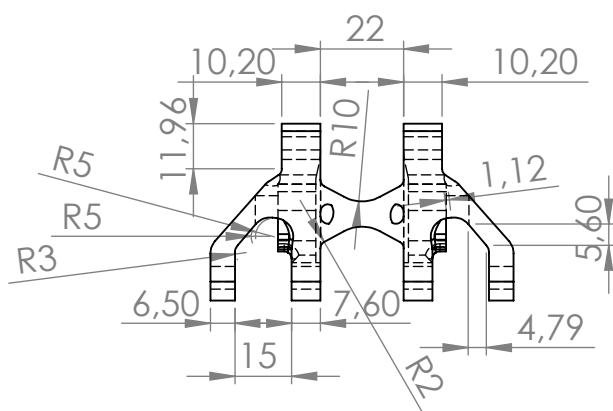
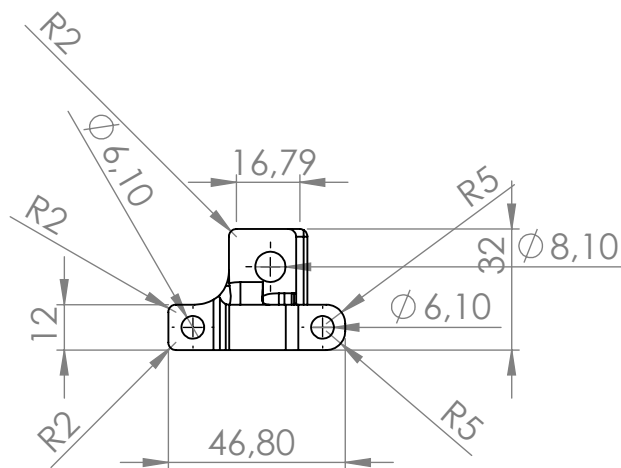
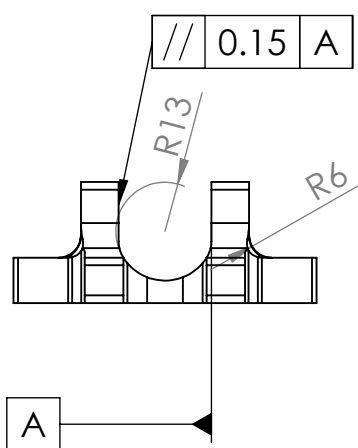
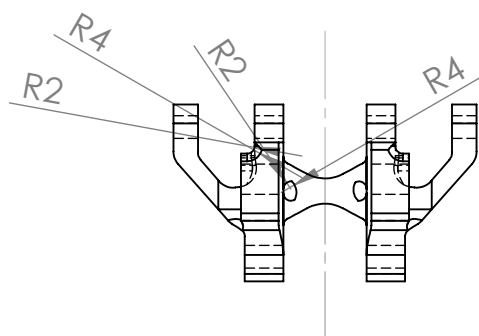
Producto SOLIDWORKS Education. No para uso en la industria.




	Fecha	Nombre	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica		
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito			
Comprobado					
Id.s Normas		Tolerancia general			
ESCALAS	Longboard impreso en 3D			Número	008
1:1				REFERENCIA	
CAJID.				Sustituye a	
Proyección				Sustituye por	

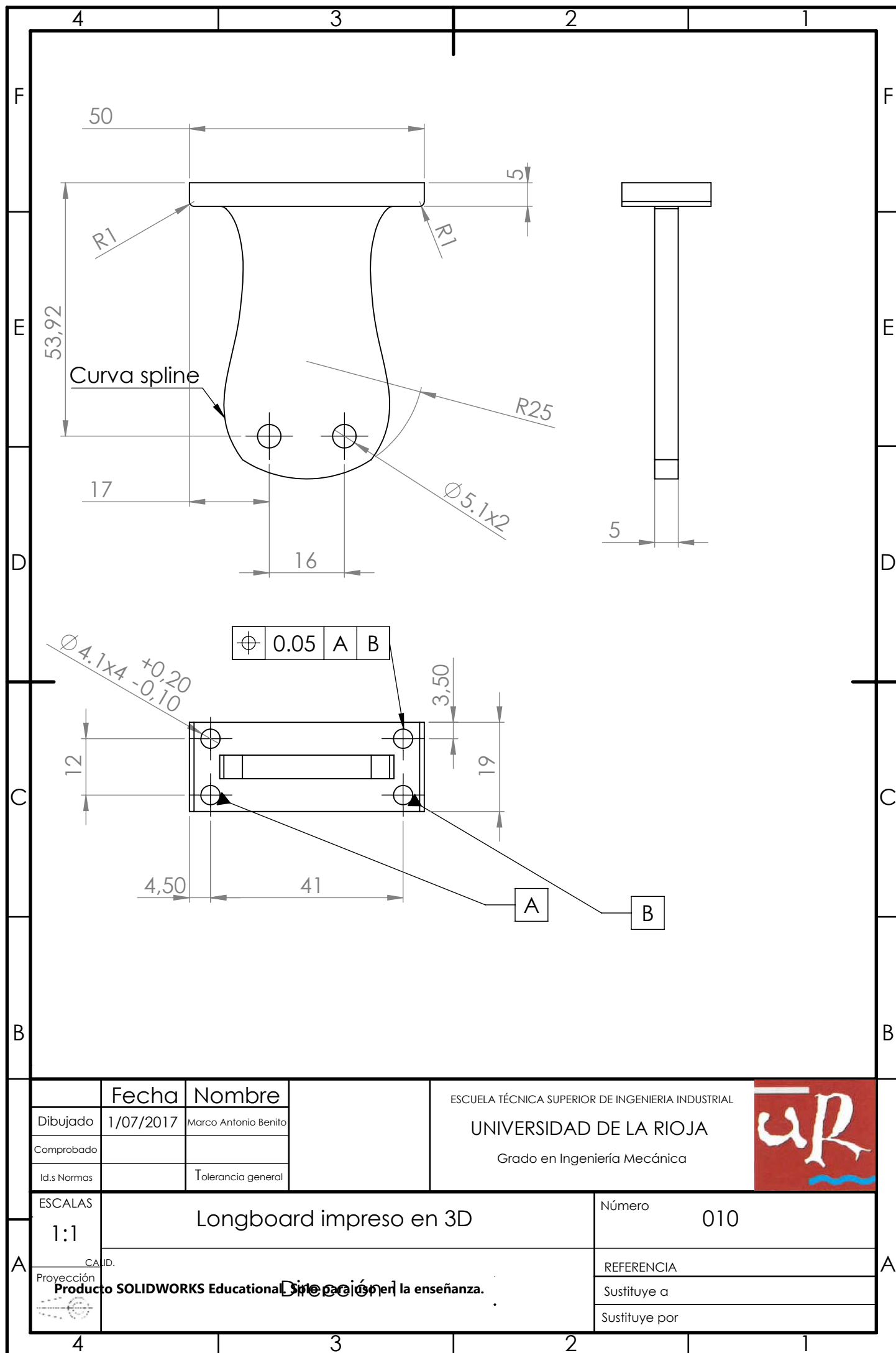
Producto SOLIDWORKS Educacional. No para uso en la industria.

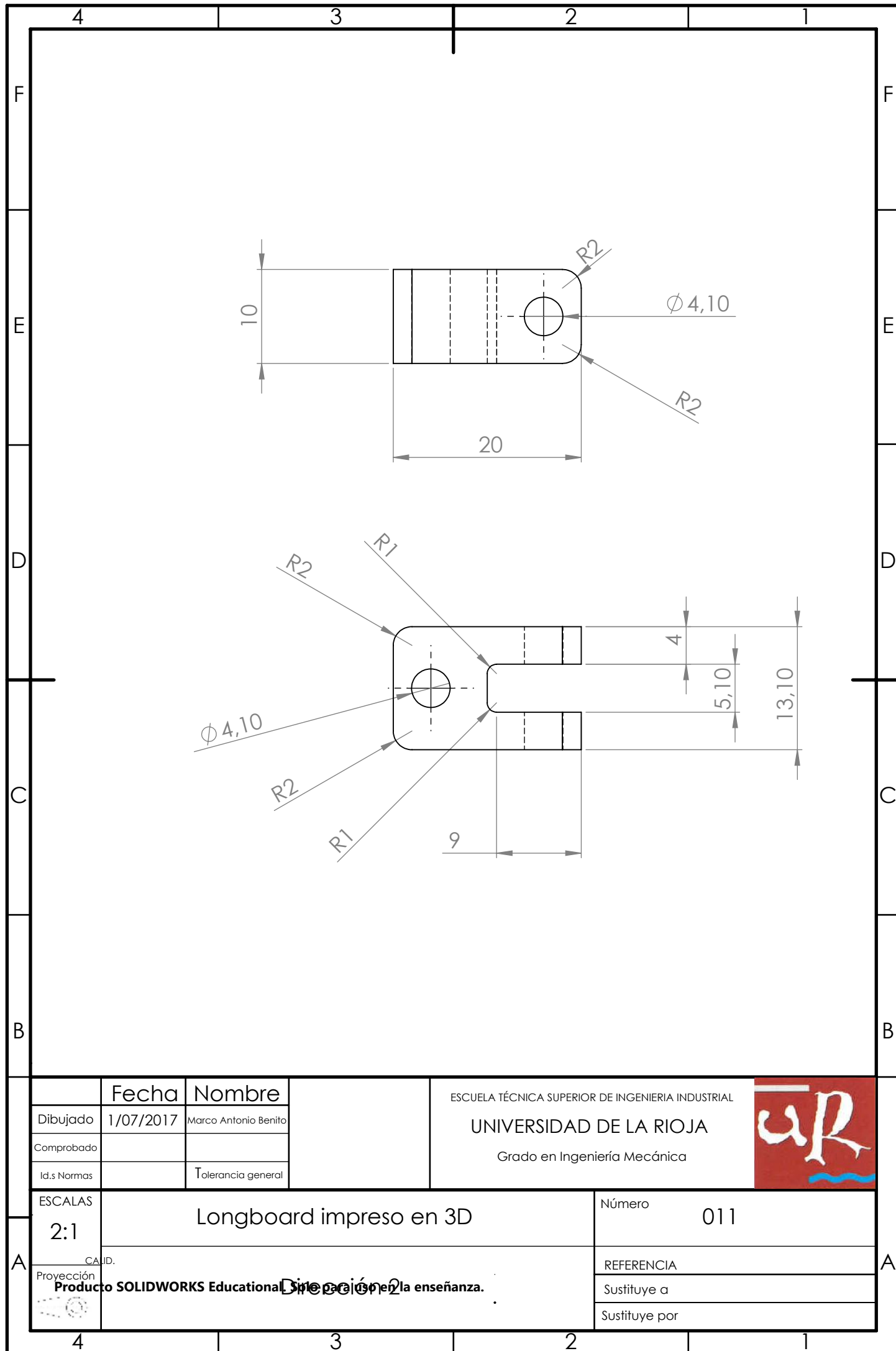
Brazo superior de la suspensión

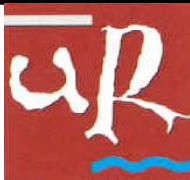
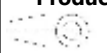


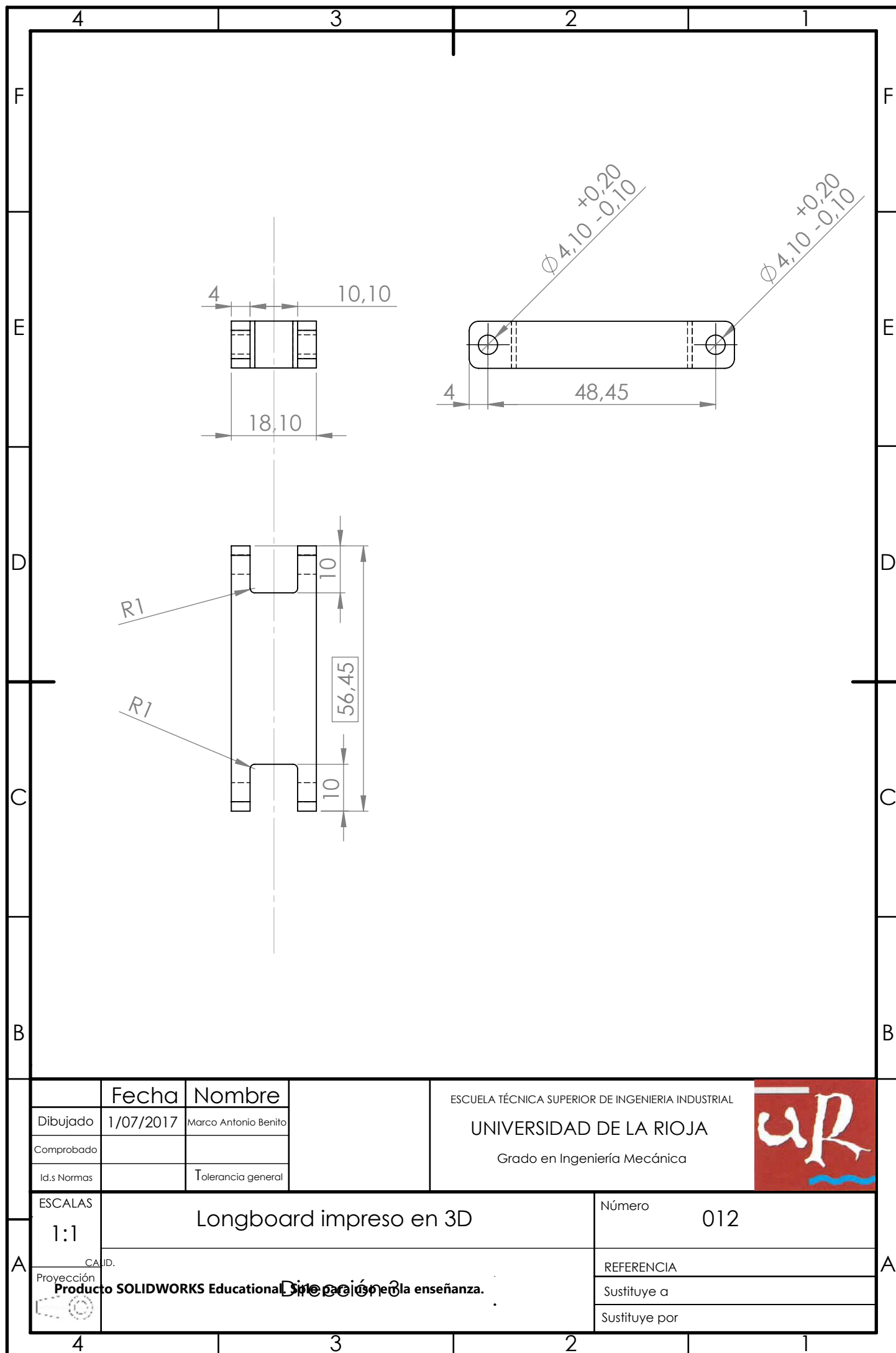
	Fecha	Nombre	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica		
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito			
Comprobado					
Id.s Normas		Tolerancia general			
ESCALAS	Longboard impreso en 3D			Número	009
1:2				REFERENCIA	
CAJID.				Sustituye a	
Proyección				Sustituye por	

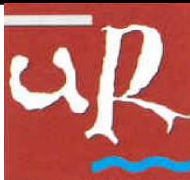
Producto SOLIDWORKS educacional. No para su uso profesional.



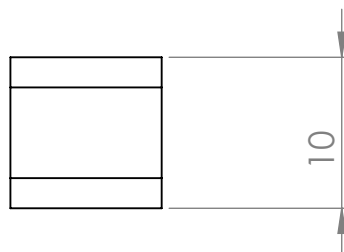
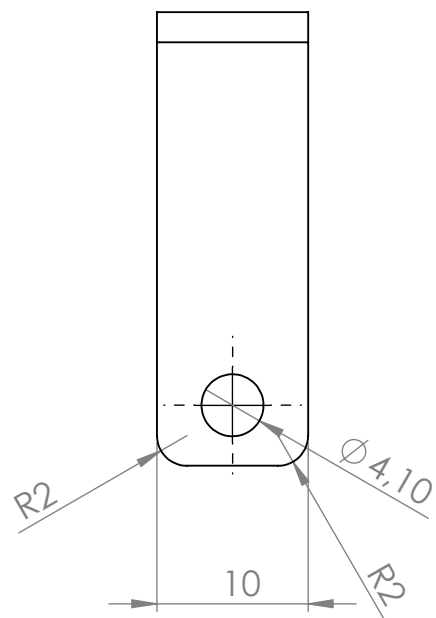
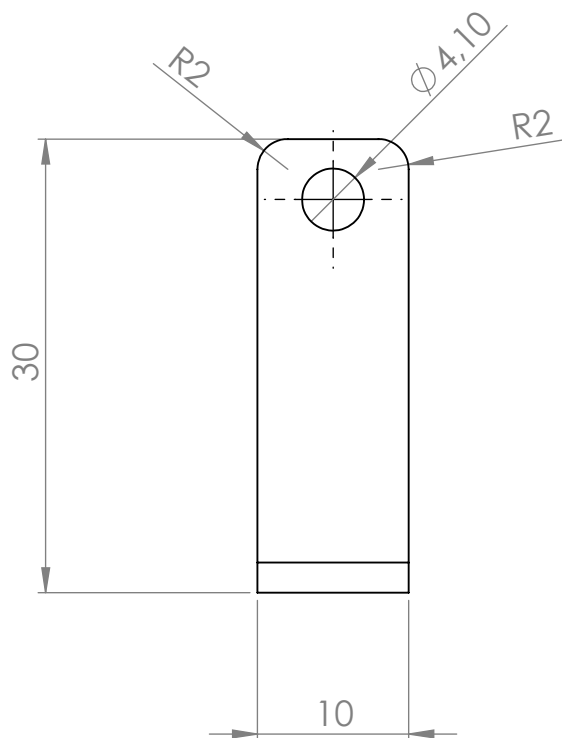



	Fecha	Nombre	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito		
Comprobado				
Id.s Normas		Tolerancia general		
ESCALAS	Longboard impreso en 3D			Número
2:1				011
CAJID.	Proyección  Producto SOLIDWORKS Educational. No para uso en la enseñanza.			REFERENCIA
				Sustituye a
				Sustituye por
Dirección 2				

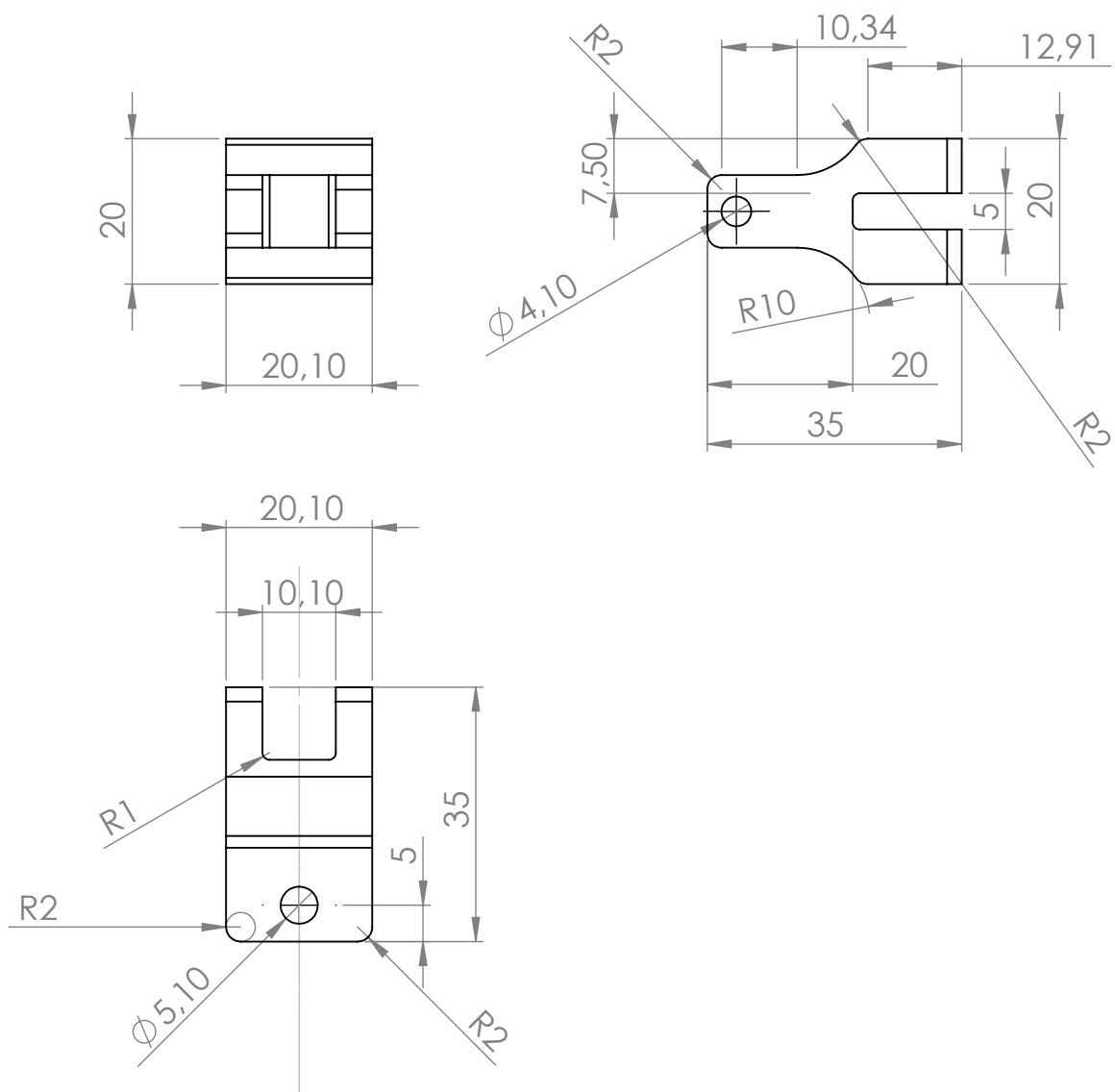


	Fecha	Nombre		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito			
Comprobado					
Id.s Normas		Tolerancia general			
ESCALAS	Longboard impreso en 3D				Número 012
1:1					
CAJ.D.					REFERENCIA
Proyección					Sustituye a
					Sustituye por


Producto SOLIDWORKS Educational. No para uso en la enseñanza.



	Fecha	Nombre	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica		
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito			
Comprobado					
Id.s Normas		Tolerancia general			
ESCALAS	Longboard impreso en 3D			Número	013
2:1				REFERENCIA	
CAJID.				Sustituye a	
Proyección	Producto SOLIDWORKS Educational. No para uso en la enseñanza.			Sustituye por	



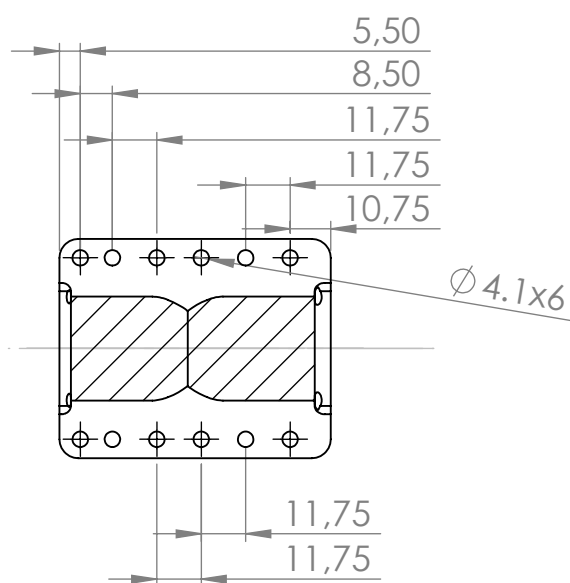
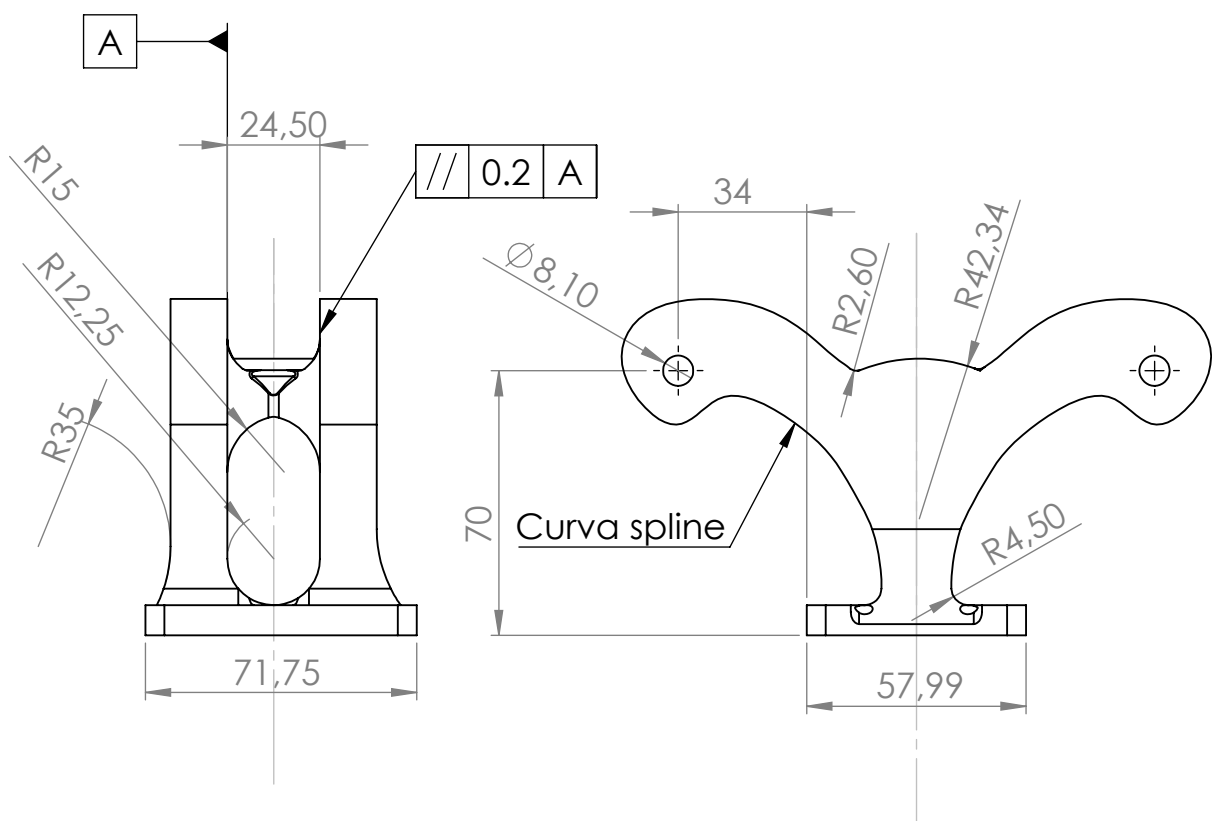
	Fecha	Nombre
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito
Comprobado		
Id.s Normas		Tolerancia general

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
 Grado en Ingeniería Mecánica



ESCALAS	Longboard impreso en 3D	Número	014
1:1		REFERENCIA	
CAJID.		Sustituye a	
Proyección		Sustituye por	

Producto **SOLIDWORKS Educational**. No para uso en la enseñanza.



	Fecha	Nombre
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito
Comprobado		
Id.s Normas		Tolerancia general

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

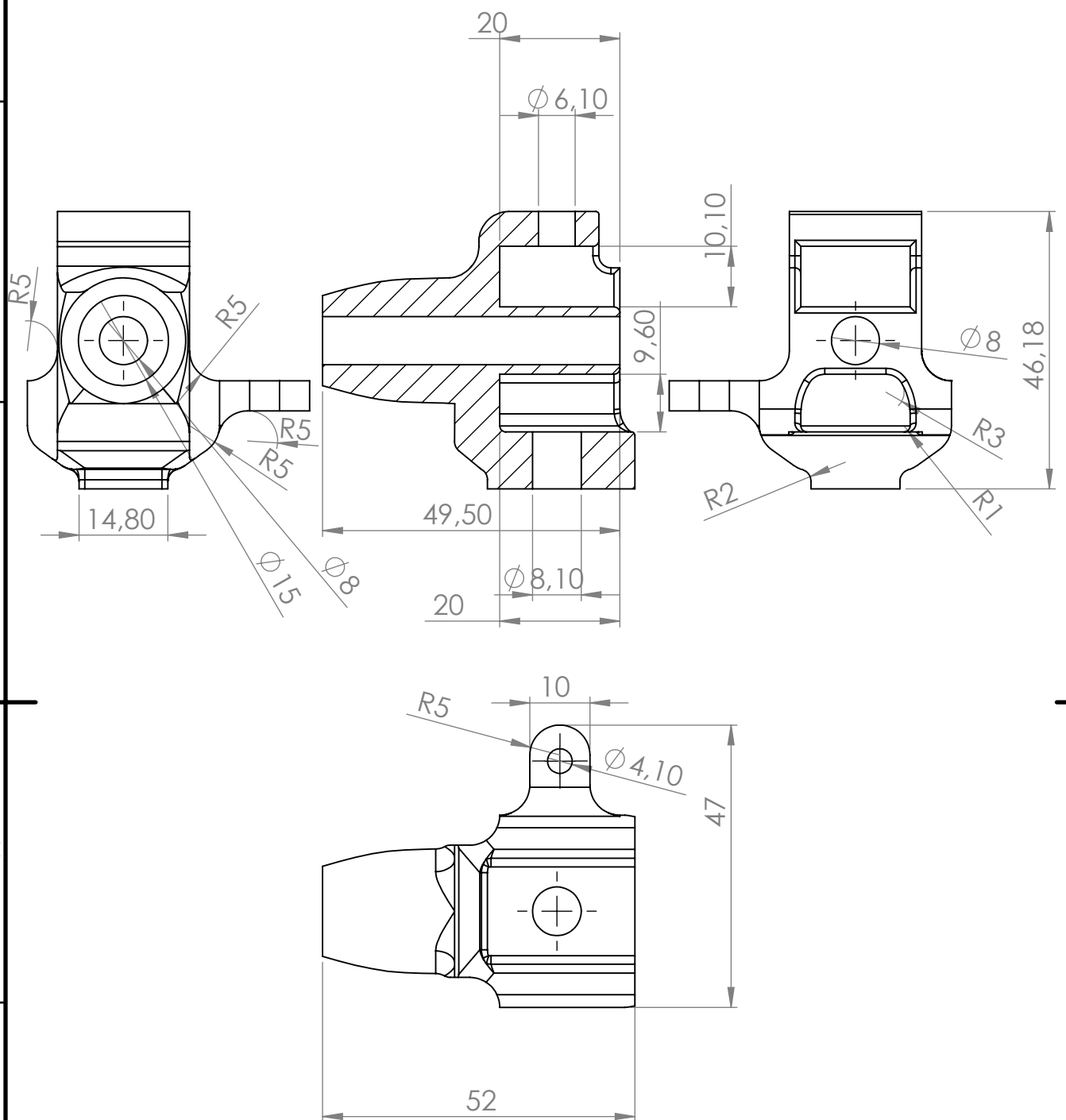
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA



Grado en Ingeniería Mecánica



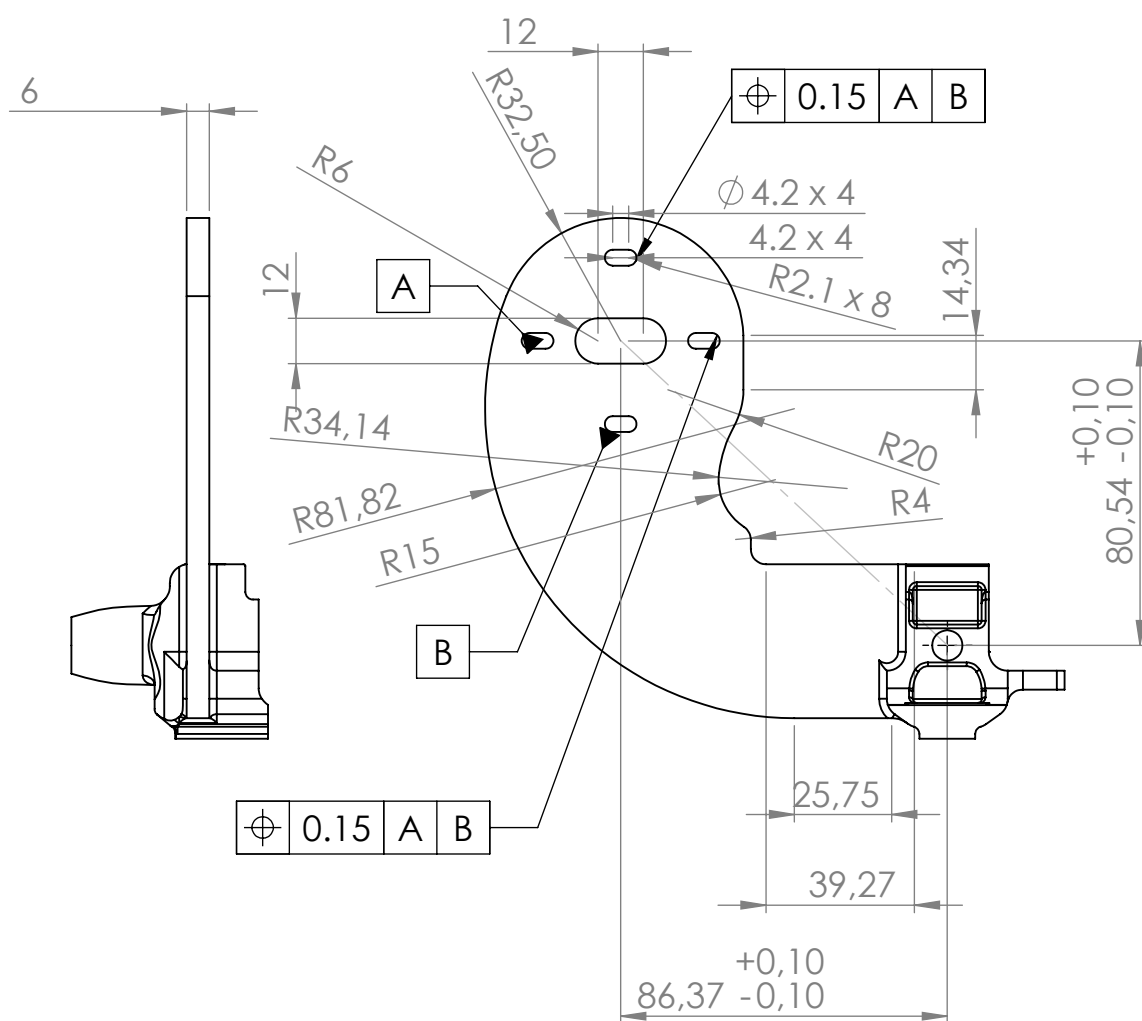
ESCALAS	Longboard impreso en 3D	Número	015
1:2		REFERENCIA	
CAJID.		Sustituye a	
Proyección		Sustituye por	

Producto SOLIDWORKS Educativo para uso en la enseñanza.



	Fecha	Nombre	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito		
Comprobado				
Id.s Normas		Tolerancia general		
ESCALAS	1:2 Longboard impreso en 3D		Número	016
CALID. Proyección 	Producto SOLIDWORKS Education. Solo para uso en la enseñanza. Deje a su cargo		REFERENCIA	
			Sustituye a	
			Sustituye por	

Teniendo la pieza esta acotada en el plano 16 en este se acotará la parte del soporte del motor



	Fecha	Nombre
Dibujado	1/07/2017	Marco Antonio Benito
Comprobado		
Id.s Normas		Tolerancia general

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Grado en Ingeniería Mecánica



ESCALAS	Longboard impreso en 3D	Número	0017
1:1		REFERENCIA	
CAJID.		Sustituye a	
Proyección		Sustituye por	

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Mediciones

Longboard eléctrico fabricado mediante impresión en 3D

2017



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

Marco Antonio Benito Martin

Firma el presente documento:
Marco Antonio Benito Martin
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Logroño, 05 de julio de 2017

Mediciones

Índice

1. Objeto	3
2. Estructura.....	3
3. Mediciones.....	3
3.1. Piezas mecánicas.....	3
3.1.1. Piezas impresas	3
3.1.2. Piezas compradas	5
3.2. Piezas electrónicas.....	6

1. Objeto

El presente documento tiene como finalidad definir y determinar las unidades de cada partida o unidad de obra que configuran la totalidad del producto terminado, siendo este último una unidad de la rueda diseñada en el presente proyecto.

Por “unidad de obra” se entiende una parte elemental de la misma, que suponga una determinada actuación, utilización de mano de obra y/o maquinaria, generalmente para aplicación en obra de ciertos elementos que tendrán el carácter de materiales.

2. Estructura

El presente documento de Mediciones, así como el documento de Presupuesto, se limitan a cubrir únicamente los materiales de la unidad mencionada. No se consideran la inversión inicial, los gastos de mantenimiento de las instalaciones y maquinaria, y los recursos personales y proceso productivo que no participan directamente en el citado proceso productivo.

3. Mediciones

3.1. Piezas mecánicas

3.1.1. Piezas impresas

CÓDIGO UD	NOMBRE	CANTIDAD
01.01.01	Ud TABLA001	
	Pieza impresa designada TABLA001	2,00
01.01.02	Ud TABLA002	
	Pieza impresa designada TABLA002	1,00
01.01.03	Ud TABLA003	
	Pieza impresa designada TABLA003	1,00
01.01.04	Ud TABLA004	
	Pieza impresa designada TABLA004	1,00
01.01.05	Ud TRUCK	
	Pieza impresa designada TRUCK	2,00
01.01.06	Ud SUSP_SUP	
	Pieza impresa designada SUSP_SUP	

01.01.07	Ud	SUSP_INF	8,00
	Pieza impresa designada SUSP_INF		
01.01.08	Ud	BUJE	4,00
	Pieza impresa designada BUJE		
01.01.09	Ud	BUJE_SUP	3,00
	Pieza impresa designada BUJE_SUP		
01.01.10	Ud	BUJE_INF	4,00
	Pieza impresa designada BUJE_INF		
01.01.11	Ud	BUJE_INF_TPE	4,00
	Pieza impresa designada BUJE_INF_TPE		
01.01.12	Ud	DIRECCIÓN001	4,00
	Pieza impresa designada DIRECCIÓN001		
			2,00
CÓDIGO	UD NOMBRE		CANTIDAD
01.01.13	Ud	DIRECCIÓN002	
	Pieza impresa designada DIRECCIÓN002		
01.01.14	Ud	DIRECCIÓN003	4,00
	Pieza impresa designada DIRECCIÓN003		
01.01.15	Ud	DIRECCIÓN004	4,00
	Pieza impresa designada DIRECCIÓN004		
01.01.16	Ud	DIRECCIÓN005	4,00
	Pieza impresa designada DIRECCIÓN005		
01.01.17	Ud	SUSP_SOPRT	4,00
	Pieza impresa designada SUSP_SOPRT		
01.01.18	Ud	BUJE_MOTOR	2,00
	Pieza impresa designada BUJE_MOTOR		
01.01.19	Ud	CAJA	1,00
	Piezas impresas designadas CAJA		
01.01.20	Ud	RUEDA	1,00
	Piezas impresas designadas RUEDA		
			4,00

3.1.2. Piezas compradas

CÓDIGO	UD	NOMBRE	CANTIDAD
01.02.01	Ud	AMORTIGUADOR	
		Elemento mecánico utilizado para la reducción de vibraciones y conseguir una mayor comodidad para el usuario del vehículo	
			4,00
01.02.02	Ud	TORNILLERIA	
		Elementos mecánicos destinados a la fijación de piezas mediante uniones atornilladas	
			1,00
01.02.03	Ud	RODAMIENTOS	
		Elementos mecánicos destinados a reducir de manera considerable la fricción entre elementos que giran sobre otros.	
			1,00
01.02.04	Ud	TUERCAS	
		Elementos mecánicos destinados a la fijación de piezas mediante uniones atornilladas	
			1,00
01.02.05	Ud	CORREA	
		Elemento mecánico utilizado para transmitir energía mecánica entre elementos. En este proyecto se utilizará una HTD de paso 5mm y longitud de 375 mm	
			1,00

3.2. Piezas electrónicas

CÓDIGO	UD	NOMBRE	CANTIDAD
02.01	Ud	VESC	
		<p>El ESC es el controlador de velocidad del motor. Se puede hacer el símil de que el cerebro del patinete. Hay diferentes diseños de ESC dependiendo de la aplicación del mismo, es decir, si será para un coche, avión y helicóptero de radiocontrol, bicicleta, patinete.</p>	
02.02	Ud	BATERÍA	1,00
		<p>Las baterías recargables son los componentes que se encargan de almacenar y distribuir la energía eléctrica necesaria para que el vehículo funcione de la forma deseada. Tienen como característica principal que pueden ser recargables.</p>	
02.03	Ud	RADIO	2,00
		<p>A un nivel básico, son los elementos que se encargan de transmitir y recibir la información de manera inalámbrica del mando. La forma más habitual de transmisión de información es mediante ondas de radiofrecuencia, aunque los modelos más básicos usan tecnología infrarroja o bluetooth.</p> <p>El mando o emisor se encarga de convertir la acción del usuario, variando las resistencias de los potenciómetros mediante sus gatillos, en señales de radio que el receptor recibe e interpreta como órdenes y las envía al ESC para modificar la velocidad de rotación del motor.</p>	
02.04	Ud	SWITCH	1,00
		<p>Para conectar y desconectar las baterías se necesita un interruptor. El problema es que se generan grandes potencias en el sistema y se necesita algún sistema de protección, ante chispazos, subidas de tensión y corrientes inesperadas, para el VESC y el resto de la electrónica. Para ello se le incorpora un fusible con una capacidad de corriente máxima de 60 amperios.</p>	
02.05	Ud	MOTOR	1,00
		<p>El motor es la pieza encargada de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. El motor presupuestado es un motor brushless el cual es un motor sin escobillas. Estos motores son los más utilizados actualmente ya que las debilidades respecto a los brushed fueron resueltas. A partir de ahora el proyecto se centrará en estos motores debido a que son los que se van a utilizar.</p>	

Presupuesto

Longboard eléctrico fabricado mediante impresión en 3D

2017



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

Marco Antonio Benito Martin

Firma el presente documento:
Marco Antonio Benito Martin
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Logroño, 05 de julio de 2017

Presupuesto

Índice

1. Objeto.....	3
2. Estructura	3
3. Presupuesto	3
3.1. Cuadro de precios unitarios	3
3.2. Cuadro de precios 1.....	6
3.2.1. Piezas Mecánicas.....	6
3.2.2. Piezas electrónicas.....	7
3.3. Cuadro de precios 2.....	9
3.3.1. Piezas Mecánicas.....	9
3.3.2. Piezas electrónicas.....	12
3.4. Presupuesto parcial.....	14
3.4.1. Piezas mecánicas.....	14
3.4.2. Piezas electrónicas.....	16
3.5. Resumen de presupuesto	17

1. Objeto

El presente documento tiene como finalidad reflejar el coste económico de los materiales necesarios para la materialización de una unidad del producto final desarrollado en el proyecto.

2. Estructura

El presente documento de Presupuesto, así como el documento de Mediciones, se limitan a cubrir únicamente los materiales de la unidad mencionada. No se consideran la inversión inicial, los gastos de mantenimiento de las instalaciones y maquinaria, y los recursos personales y proceso productivo que no participan directamente en el citado proceso productivo.

3. Presupuesto

3.1. Cuadro de precios unitarios

CÓDIGO	UD	NOMBRE	CANTIDAD
1.2.1	Ud	AMORTIGUADOR Elemento mecánico utilizado para la reducción de vibraciones y conseguir una mayor comodidad para el usuario del vehículo	8,00
1.2.5	Ud	CORREA Elemento mecánico utilizado para transmitir energía mecánica entre elementos. En este proyecto se utilizara una HTD de paso 5mm y longitud de 375 mm	4,00
2.01	Ud	VESC El ESC es el controlador de velocidad del motor. Se puede hacer el símil de que el cerebro del patinete. Hay diferentes diseños de ESC dependiendo de la aplicación del mismo, es decir, si será para un coche, avión y helicóptero de radiocontrol, bicicleta, patinete.	110,60
2.02	Ud	BATERÍA Las baterías recargables son los componentes que se encargan de almacenar y distribuir la energía eléctrica necesaria para que el vehículo funcione de la forma deseada. Tienen como característica principal que pueden ser recargables.	55,30
2.03	Ud	RADIO A un nivel básico, son los elementos que se encargan de transmitir y recibir la información de manera inalámbrica del mando. La forma más habitual de transmisión de información es mediante ondas de radiofrecuencia, aunque los modelos más básicos usan tecnología infrarroja o bluetooth. El mando o emisor se encarga de convertir la acción del usuario, variando las resistencias de los potenciómetros mediante sus gatillos, en señales de radio que el receptor recibe e interpreta como órdenes y las envía al ESC para modificar la velocidad de rotación del motor.	19,75
2.04	Ud	SWITCH Para conectar y desconectar las baterías se necesita un interruptor. El problema es que se generan grandes potencias en el sistema y se necesita algún sistema de protección, ante chispazos, subidas de	15,80

		tensión y corrientes inesperadas, para el VESC y el resto de la electrónica. Para ello se le incorpora un fusible con una capacidad de corriente máxima de 60 amperios.	
2.05	Ud	MOTOR El motor es la pieza encargada de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. El motor presupuestado es un motor brushless el cual es un motor sin escobillas. Estos motores son los más utilizados actualmente ya que las debilidades respecto a los brushed fueron resueltas. A partir de ahora el proyecto se centrará en estos motores debido a que son los que se van a utilizar.	71,10
	ABEC 7	ABEC 7	1,58
	APOLLO X	APOLLO X Es un plástico muy utilizado en la industria de la automoción, debido a sus propiedades mecánicas suficientes, una alta resistencia al desgaste y a la radiación UV.	36,80
	CARBONFIL	CARBONFIL El plástico es una variación del utilizado en las botellas PETG reforzado con fibra de carbono. Con la incorporación del glicol se consigue que la rotura no sea tan brusca, ya que el PET produce muchas virutas que salen expulsadas a gran velocidad al romperse. Por otro lado, también se le ha añadido fibra de carbono a la mezcla. Las fibras añadidas le otorgan una mayor rigidez y fragilidad al plástico. Debido a esto las propiedades mecánicas de las piezas impresas en este material son bastante buenas.	55,30
	CARBONIUM	CARBONIUM Actualmente este es el material que ofrece las mejores prestaciones mecánicas, están formados por poliamida 6/66 con fibras de fibra de carbono como el plástico anterior. En la industria de la inyección con estos plásticos se pueden llegar a igualar o superar las propiedades de algunos metales como es el caso de aluminio. En el mundo de la impresión 3D las propiedades son bastante más inferiores, pero aun así son superiores a las del resto.	79,00
	M3	Tuerca M3	0,01
	M3X30	Tornillo M3X30	0,03
	M4	Tuerca M4	0,01
	M4X10	Tornillo M4X10	0,05
	M4X50	Tornillo M4X50	0,07
	M6	Tuerca M6	0,01
	M6X35	Tornillo M6X35	0,07
	M6X55	Tornillo M6X55	0,08
	M8	Tuerca M8	0,01



M8X30	Tornillo M8X30	0,11
M8X65	Tornillo M8X65	0,23
M8X90	Tornillo M8X90	0,31
PLA	PLA	20,00
SKF E2 608	SKF E2 608	1,70
TPE	TPE	30,00

3.2. Cuadro de precios 1

3.2.1. Piezas Mecánicas

3.2.1.1. Piezas impresas

CÓDIGO	UD	NOMBRE	PRECIO
01.01.01	Ud	TABLA001	9,40
		Pieza impresa designada TABLA001	NUEVE EUROS con CUARENTA CÉNTIMOS
01.01.02	Ud	TABLA002	11,67
		Pieza impresa designada TABLA002	ONCE EUROS con SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS
01.01.03	Ud	TABLA003	11,78
		Pieza impresa designada TABLA003	ONCE EUROS con SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS
01.01.04	Ud	TABLA004	11,96
		Pieza impresa designada TABLA004	ONCE EUROS con NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS
01.01.05	Ud	TRUCK	17,38
		Pieza impresa designada TRUCK	DIECISIETE EUROS con TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS
01.01.06	Ud	SUSP_SUP	0,79
		Pieza impresa designada SUSP_SUP	CERO EUROS con SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS
01.01.07	Ud	SUSP_INF	1,42
		Pieza impresa designada SUSP_INF	UN EUROS con CUARENTA Y DOS CÉNTIMOS
01.01.08	Ud	BUJE	4,74
		Pieza impresa designada BUJE	CUATRO EUROS con SETENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
01.01.09	Ud	BUJE_SUP	0,79
		Pieza impresa designada BUJE_SU	CERO EUROS con SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS
01.01.10	Ud	BUJE_INF	0,55
		Pieza impresa designada BUJE_INF	CERO EUROS con CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS
01.01.11	Ud	BUJE_INF_TPE	0,30
		Pieza impresa designada BUJE_INF_TPE	CERO EUROS con TREINTA CÉNTIMOS
01.01.12	Ud	DIRECCIÓN001	1,58
		Pieza impresa designada DIRECCIÓN001	UN EUROS con CINCUENTA Y OCHO CÉNTIMOS
01.01.13	Ud	DIRECCIÓN002	1,19
		Pieza impresa designada DIRECCIÓN002	UN EUROS con DIECINUEVE CÉNTIMOS
01.01.14	Ud	DIRECCIÓN003	3,16
		Pieza impresa designada DIRECCIÓN003	TRES EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS
01.01.15	Ud	DIRECCIÓN004	0,95
		Pieza impresa designada DIRECCIÓN004	CERO EUROS con NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS
01.01.16	Ud	DIRECCIÓN005	0,71
		Pieza impresa designada DIRECCIÓN005	CERO EUROS con SETENTA Y UN CÉNTIMOS
01.01.17	Ud	SUSP_SOPRT	21,73
		Pieza impresa designada SUSP_SOPRT	VEINTIUN EUROS con SETENTA Y TRES CÉNTIMOS

01.01.18	Ud BUJE_MOTOR	7,90	
	Pieza impresa designada BUJE_MOTOR		
01.01.19	Ud CAJA	6,00	
	Piezas impresas designadas CAJA		
			SEIS EUROS
01.01.20	Ud RUEDA	10	
	Pieza impresa designada BUJE_MOTOR		
	DIEZ EUROS		
			SIETE EUROS con NOVENTA CÉNTIMOS

3.2.1.2. Piezas compradas

01.02.01	Ud AMORTIGUADOR	8,00	
	Elemento mecánico utilizado para la reducción de vibraciones y conseguir una mayor comodidad para el usuario del vehículo		
			OCHO EUROS
01.02.02	Ud TORNILLERIA	8,16	
	Elementos mecánicos destinados a la fijación de piezas mediante uniones atornilladas		
			OCHO EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS
01.02.03	Ud RODAMIENTOS	19,44	
	Elementos mecánicos destinados a reducir de manera considerable la fricción entre elementos que giran sobre otros.		
			DIECINUEVE EUROS con CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
01.02.04	Ud TUERCAS	0,92	
	Elementos mecánicos destinados a la fijación de piezas mediante uniones atornilladas		
			CERO EUROS con NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS
01.02.05	Ud CORREA	4,00	
	Elemento mecánico utilizado para transmitir energía mecánica entre elementos. En este proyecto se utilizara una HTD de paso 5mm y longitud de 375 mm		
			CUATRO EUROS

3.2.2. Piezas electrónicas

02.01	Ud VESC	110,60	
	El ESC es el controlador de velocidad del motor. Se puede hacer el símil de que el cerebro del patinete. Hay diferentes diseños de ESC dependiendo de la aplicación del mismo, es decir, si será para un coche, avión y helicóptero de radiocontrol, bicicleta, patinete.		
			CIENTO DIEZ EUROS con SESENTA CÉNTIMOS
02.02	Ud BATERÍA	55,30	
	Las baterías recargables son los componentes que se encargan de almacenar y distribuir la energía eléctrica necesaria para que el vehículo funcione de la forma deseada. Tienen como característica principal que pueden ser recargables.		
			CINCUENTA Y CINCO EUROS con TREINTA CÉNTIMOS
02.03	Ud RADIO	19,75	
	A un nivel básico, son los elementos que se encargan de transmitir y recibir la información de manera inalámbrica del mando. La forma más habitual de transmisión de información es mediante ondas de radiofrecuencia, aunque los modelos más básicos usan tecnología infrarrojo o bluetooth.		
	El mando o emisor se encarga de convertir la acción del usuario, variando las resistencias de los potenciómetros mediante sus gatillos, en señales de radio que el receptor recibe e interpreta como órdenes y las envía al ESC para modificar la velocidad de rotación del motor.		
			DIECINUEVE EUROS con SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS
02.04	Ud SWITCH	15,80	
	Para conectar y desconectar las baterías se necesita un interruptor. El problema es que se generan grandes potencias en el sistema y se necesita algún sistema de protección, ante chispazos, subidas de tensión y corrientes inesperadas, para el VESC y el resto de la electrónica. Para ello se le incorpora un fusible con una capacidad de		

corriente máxima de 60 amperios.

QUINCE EUROS con

OCHENTA CÉNTIMOS

02.05

Ud	MOTOR	71,10
----	-------	-------

El motor es la pieza encargad de transformar la energía electrica en energía mecánica.

El motor presupuestado es un motor brushless el cual es un motor sin escobillas.

Estos motores son los más utilizados actualmente ya que las debilidades respecto a los brushed fueron resueltas. A partir de ahora el proyecto se centrará en estos motores debido a que son los que se van a utilizar.

SETENTA Y UN EUROS con DIEZ CÉNTIMOS

3.3. Cuadro de precios 2

3.3.1. Piezas Mecánicas

3.3.1.1. Piezas impresas

CÓDIGO	UD	NOMBRE	CANTIDAD	PRECIO
01.01.01		Ud TABLA001		
		Pieza impresa designanda TABLA001		
CARBONFIL	0,170			55,30 9,40
TOTAL PARTIDA				9,40
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de NUEVE EUROS con CUARENTA CÉNTIMOS				
01.01.02		Ud TABLA002		
		Pieza impresa designada TABLA002		
APOLLO X	0,317			36,80 11,67
TOTAL PARTIDA				11,67
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de ONCE EUROS con SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS				
01.01.03		Ud TABLA003		
		Pieza impresa designada TABLA003		
APOLLO X	0,320			36,80 11,78
TOTAL PARTIDA				11,78
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de ONCE EUROS con SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS				
01.01.04		Ud TABLA004		
		Pieza impresa designada TABLA004		
APOLLO X	0,325			36,80 11,96
TOTAL PARTIDA				11,96
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de ONCE EUROS con NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS				
01.01.05		Ud TRUCK		
		Pieza impresa designada TRUCK		
CARBONIUM	0,220			79,00 17,38
TOTAL PARTIDA				17,38
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DIECISIETE EUROS con TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS				
01.01.06		Ud SUSP_SUP		
		Pieza impresa designada SUSP_SUP		
CARBONIUM	0,010			79,00 0,79
TOTAL PARTIDA				0,79
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CERO EUROS con SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS				
01.01.07		Ud SUSP_INF		
		Pieza impresa designada SUSP_INF		
CARBONIUM	0,018			79,00 1,42
TOTAL PARTIDA				1,42
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de UN EUROS con CUARENTA Y DOS CÉNTIMOS				
01.01.08		Ud BUJE		

Pieza impresa designada BUJE				
CARBONIUM	0,060		79,00	4,74
TOTAL PARTIDA				4,74
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUATRO EUROS con SETENTA Y CUATRO CÉNTIMOS				
01.01.09		Ud BUJE_SUP		
Pieza impresa designada BUJE_SUP				
CARBONIUM	0,010		79,00	0,79
TOTAL PARTIDA				0,79
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CERO EUROS con SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS				
01.01.10		Ud BUJE_INF		
Pieza impresa designada BUJE_INF				
CARBONIUM	0,007		79,00	0,55
TOTAL PARTIDA				0,55
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CERO EUROS con CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS				
01.01.11		Ud BUJE_INF_TPE		
Pieza impresa designada BUJE_INF_TPE				
TPE	0,010		30,00	0,30
TOTAL PARTIDA				0,30
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CERO EUROS con TREINTA CÉNTIMOS				
01.01.12		Ud DIRECCIÓN001		
Pieza impresa designada DIRECCIÓN001				
CARBONIUM	0,020		79,00	1,58
TOTAL PARTIDA				1,58
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de UN EUROS con CINCUENTA Y OCHO CÉNTIMOS				
01.01.13		Ud DIRECCIÓN002		
Pieza impresa designada DIRECCIÓN002				
CARBONIUM	0,015		79,00	1,19
TOTAL PARTIDA				1,19
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de UN EUROS con DIECINUEVE CÉNTIMOS				
01.01.14		Ud DIRECCIÓN003		
Pieza impresa designada DIRECCIÓN003				
CARBONIUM	0,040		79,00	3,16
TOTAL PARTIDA				3,16
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRES EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS				
01.01.15		Ud DIRECCIÓN004		
Pieza impresa designada DIRECCIÓN004				
CARBONIUM	0,012		79,00	0,95
TOTAL PARTIDA				0,95
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CERO EUROS con NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS				
01.01.16		Ud DIRECCIÓN005		
Pieza impresa designada DIRECCIÓN005				
CARBONIUM	0,009		79,00	0,71

TOTAL PARTIDA **0,71**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CERO EUROS con SETENTA Y UN CÉNTIMOS

01.01.17 **Ud SUSP_SOPRT**

Pieza impresa designada SUSP_SOPRT

CARBONIUM	0,275		79,00	21,73
-----------	-------	--	-------	-------

TOTAL PARTIDA **21,73**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTIUN EUROS con SETENTA Y TRES CÉNTIMOS

01.01.18 **Ud BUJE_MOTOR**

Pieza impresa designada BUJE_MOTOR

CARBONIUM	0,100		79,00	7,90
-----------	-------	--	-------	------

TOTAL PARTIDA **7,90**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SIETE EUROS con NOVENTA CÉNTIMOS

01.01.19 **Ud CAJA**

Piezas impresas designadas CAJA

PLA	0,300 1		20,00	6,00
-----	---------	--	-------	------

TOTAL PARTIDA **6,00**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEIS EUROS

01.01.20 **Ud RUEDA**

Pieza impresa designada RUEDA

PLA	0,500		20,00	10
-----	-------	--	-------	----

TOTAL PARTIDA **10**

3.3.1.2. Piezas compradas

01.02.01 **Ud AMORTIGUADOR**

Elemento mecánico utilizado para la reducción de vibraciones y conseguir una mayor comodidad para el usuario

Sin descomposición

TOTAL PARTIDA **8,00**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de OCHO EUROS

01.02.02 **Ud TORNILLERIA**

Elementos mecánicos destinados a la fijación de piezas mediante uniones

atornilladas

M8X90	4,000	M8X90	0,31	1,24
M8X65	8,000	M8X65	0,23	1,84
M8X30	4,000	M8X30	0,11	0,44
M6X55	20,000	M6X55	0,08	1,60
M6X35	4,000	M6X35	0,07	0,28
M4X50	28,000	M4X50	0,07	1,96
M4X10	4,000	M4X10	0,05	0,20
M3X30	20,000	M3X30	0,03	0,60

TOTAL PARTIDA **8,16**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de OCHO EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS

01.02.03 **Ud RODAMIENTOS**

Elementos mecánicos destinados a reducir de manera considerable la fricción entre elemntos que giran sobre

ABEC 7	8,000	ABEC 7	1,58	12,64
SKF E2 608	4,000	SKF E2 608	1,70	6,80

TOTAL PARTIDA **19,44**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DIECINUEVE EUROS con CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS

01.02.04 Ud TUERCAS

Elementos mecánicos destinados a la fijación de piezas mediante uniones

atornilladas

M8	16,000	M8	0,01	0,16
M6	24,000	M6	0,01	0,24
M4	32,000	M4	0,01	0,32
M3	20,000	M3	0,01	0,20

TOTAL PARTIDA **0,92**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CERO EUROS con NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS

01.02.05 Ud CORREA

Elemento mecánico utilizado para transmitir energía mecánica entre elementos.
Sin descomposición

TOTAL PARTIDA **4,00**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUATRO EUROS

3.3.2. Piezas electrónicas

02.01 Ud VESC

El ESC es el controlador de velocidad del motor. Se puede hacer el símil de que el cerebro del patinete. Hay diferentes diseños de ESC dependiendo de la aplicación del mismo, es decir, si será para un coche, avión y helicóptero

Sin descomposición

TOTAL PARTIDA **110,60**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO DIEZ EUROS con SESENTA CÉNTIMOS

02.02 Ud BATERÍA

Las baterías recargables son los componentes que se encargan de almacenar y distribuir la energía eléctrica necesaria para que el vehículo funcione de la forma deseada. Tienen como característica principal que pueden ser re-

Sin descomposición

TOTAL PARTIDA **55,30**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CINCUENTA Y CINCO EUROS con TREINTA CÉNTIMOS

02.03 Ud RADIO

A un nivel básico, son los elementos que se encargan de transmitir y recibir la información de manera inalámbrica del mando. La forma más habitual de transmisión de información es mediante ondas de radiofrecuencia, aunque los modelos más básicos usan tecnología infrarroja o bluetooth.

El mando o emisor se encarga de convertir la acción del usuario, variando las resistencias de los potenciómetros

mediante sus gatillos, en señales de radio que el receptor recibe e interpreta como

órdenes y las envía al ESC pa-

Sin descomposición

TOTAL PARTIDA **19,75**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DIECINUEVE EUROS con SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS

02.04 Ud SWITCH

Para conectar y desconectar las baterías se necesita un interruptor. El problema es que se generan grandes potencias en el sistema y se necesita algún sistema de protección, ante chispazos, subidas de tensión y corrientes inesperadas, para el VESC y el resto de la electrónica. Para ello se le incorpora un fusible con una capacidad de

Sin descomposición

TOTAL PARTIDA **15,80**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de QUINCE EUROS con OCHENTA

CÉNTIMOS
02.05**Ud MOTOR**

El motor es la pieza encargada de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. El motor presupuestado es un motor brushless el cual es un motor sin escobillas. Estos motores son los más utilizados actualmente ya que las debilidades respecto a los brushed fueron resueltas. A partir de ahora el proyecto se centrará en estos motores.

Sin descomposición

TOTAL PARTIDA

..... 71,10

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SETENTA Y UN EUROS con DIEZ CÉNTIMOS

3.4. Presupuesto parcial

3.4.1. Piezas mecánicas

3.4.1.1. Piezas impresas

CÓDIGO	UD	NOMBRE	CANTIDAD	PRECIO
01.01.01	Ud TABLA001	Pieza impresa designada TABLA001	2,00	9,40
				18,80
01.01.02	Ud TABLA002	Pieza impresa designada TABLA002	1,00	11,67
				11,67
01.01.03	Ud TABLA003	Pieza impresa designada TABLA003	1,00	11,78
				11,78
01.01.04	Ud TABLA004	Pieza impresa designada TABLA004	1,00	11,96
				11,96
01.01.05	Ud TRUCK	Pieza impresa designada TRUCK	2,00	17,38
				34,76
01.01.06	Ud SUSP_SUP	Pieza impresa designada SUSP_SUP	8,00	0,79
				6,32
01.01.07	Ud SUSP_INF	Pieza impresa designada SUSP_INF	4,00	1,42
				5,68
01.01.08	Ud BUJE	Pieza impresa designada BUJE	3,00	4,74
				14,22
01.01.09	Ud BUJE_SUP	Pieza impresa designada BUJE_SUP	4,00	0,79
				3,16
01.01.10	Ud BUJE_INF	Pieza impresa designada BUJE_INF	4,00	0,55
				2,20
01.01.11	Ud BUJE_INF_TPE	Pieza impresa designada BUJE_INF_TPE	4,00	0,30
				1,20
01.01.12	Ud DIRECCIÓN001	Pieza impresa designada DIRECCIÓN001	2,00	1,58
				3,16
01.01.13	Ud DIRECCIÓN002	Pieza impresa designada DIRECCIÓN002	4,00	1,19
				4,76
01.01.14	Ud DIRECCIÓN003	Pieza impresa designada DIRECCIÓN003	4,00	3,16
				12,64
01.01.15	Ud DIRECCIÓN004	Pieza impresa designada DIRECCIÓN004	4,00	0,95
				3,80

01.01.16	Ud DIRECCIÓN005	Pieza impresa designada DIRECCIÓN005	4,00	0,71	2,84
01.01.17	Ud SUSP_SOPRT	Pieza impresa designada SUSP_SOPRT	2,00	21,73	43,46
01.01.18	Ud BUJE_MOTOR	Pieza impresa designada BUJE_MOTOR	1,00	7,90	7,90
01.01.19	Ud CAJA	Piezas impresas designadas CAJA	1,00	6,00	6,00
01.01.20	Ud RUEDA	Piezas impresas designadas RUEDA	4,00	2,50	10,00

TOTAL SUBCAPÍTULO 01.01 Piezas impresas 216,31

3.4.1.2. Piezas compradas

01.02.01	Ud AMORTIGUADOR	Elemento mecánico utilizado para la reducción de vibraciones y conseguir una mayor comodidad para el usuario del vehículo	4,00	8,00	32,00
01.02.02	Ud TORNILLERIA	Elementos mecánicos destinados a la fijación de piezas mediante uniones atornilladas	1,00	8,16	8,16
01.02.03	Ud RODAMIENTOS	Elementos mecánicos destinados a reducir de manera considerable la fricción entre elemntos que giran sobre otros.	1,00	19,44	19,44
01.02.04	Ud TUERCAS	Elementos mecánicos destinados a la fijación de piezas mediante uniones atornilladas	1,00	0,92	0,92
01.02.05	Ud CORREA	Elemento mecánico utilizado para transmitir energía mecánica entre elementos. En este proyecto se utilizara una HTD de paso 5mm y longitud de 375 mm	1,00	4,00	4,00

**TOTAL SUBCAPÍTULO 01.02 Piezas
compradas 64,52**

TOTAL CAPÍTULO 01 Piezas mecánicas..... 270,83

3.4.2. Piezas electrónicas

02.01	Ud VESC	El ESC es el controlador de velocidad del motor. Se puede hacer el símil de que el cerebro del patinete. Hay diferentes diseños de ESC dependiendo de la aplicación del mismo, es decir, si será para un coche, avión y helicóptero de radiocontrol, bicicleta, patinete.	1,00	110,60	110,60
02.02	Ud BATERÍA	Las baterías recargables son los componentes que se encargan de almacenar y distribuir la energía eléctrica necesaria para que el vehículo funcione de la forma deseada. Tienen como característica principal que pueden ser recargables.	2,00	55,30	110,60
02.03	Ud RADIO	A un nivel básico, son los elementos que se encargan de transmitir y recibir la información de manera inalámbrica del mando. La forma más habitual de transmisión de información es mediante ondas de radiofrecuencia, aunque los modelos más básicos usan tecnología infrarroja o bluetooth. El mando o emisor se encarga de convertir la acción del usuario, variando las resistencias de los potenciómetros mediante sus gatillos, en señales de radio que el receptor recibe e interpreta como órdenes y las envía al ESC para modificar la velocidad de rotación del motor.	1,00	19,75	19,75
02.04	Ud SWITCH	Para conectar y desconectar las baterías se necesita un interruptor. El problema es que se generan grandes potencias en el sistema y se necesita algún sistema de protección, ante chispazos, subidas de tensión y corrientes inesperadas, para el VESC y el resto de la electrónica. Para ello se le incorpora un fusible con una capacidad de corriente máxima de 60 amperios.	1,00	15,80	15,80
02.05	Ud MOTOR	El motor es la pieza encargada de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. El motor presupuestado es un motor brushless el cual es un motor sin escobillas. Estos motores son los más utilizados actualmente ya que las debilidades respecto a los brushed fueron resueltas. A partir de ahora el proyecto se centrará en estos motores debido a que son los que se van a utilizar.	1,00	71,10	71,10
TOTAL CAPÍTULO 02 Piezas electrónicas.....					327,85

3.5. Resumen de presupuesto

1	Piezas impresas.....	216,31
2	Piezas electrónicas.....	327,85
		<hr/>
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		544,16
21,00 % I.V.A.		114,27
		<hr/>
TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA		658,43
		<hr/>
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		658,43

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de SEISCIENTOS CINCUENTA Y OCHO EUROS Y CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS